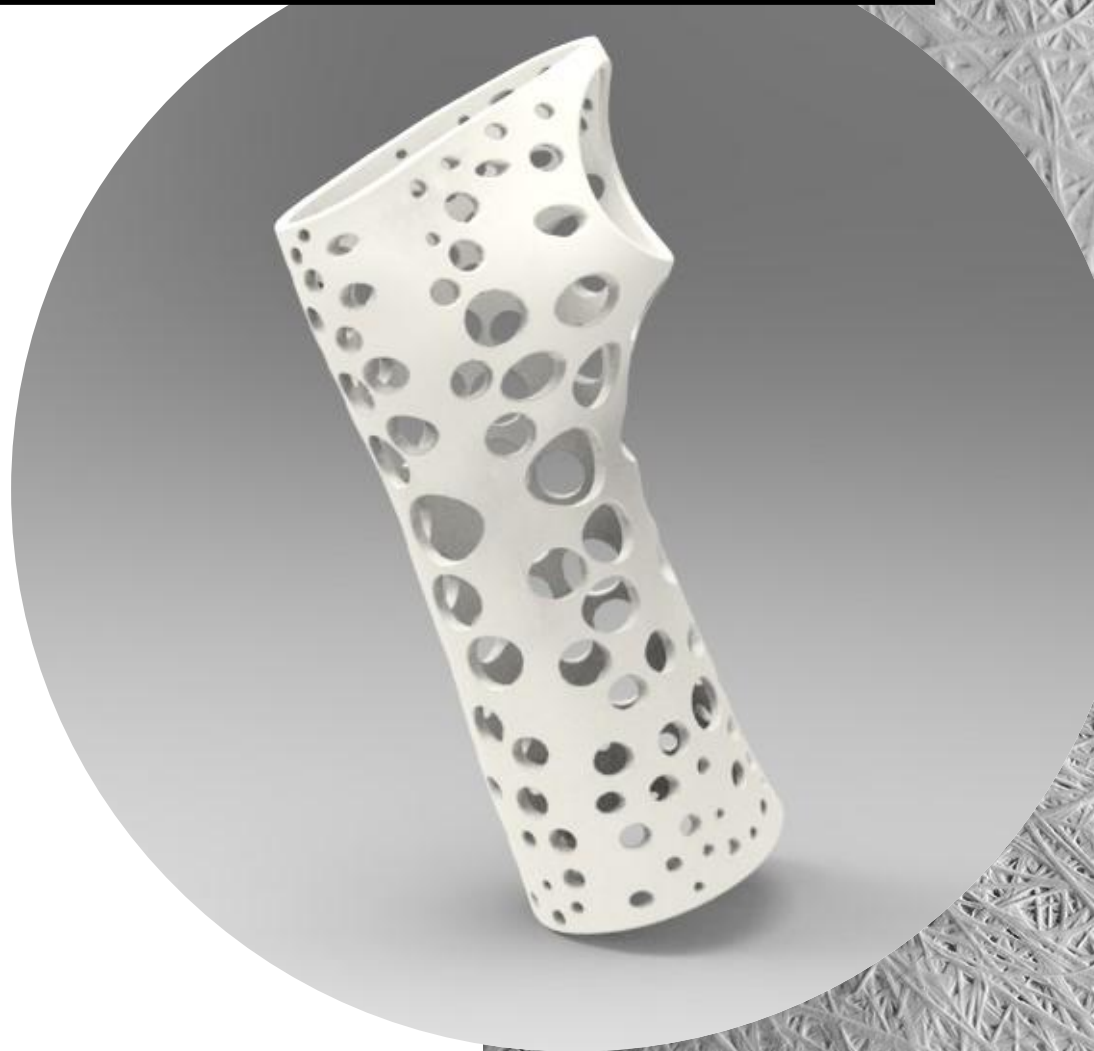


DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA DE MIEMBRO SUPERIOR ESCANEADA E IMPRESA EN 3D



Leyre Herrera Gil

2018/2019



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo
del Producto**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA DE
MIEMBRO SUPERIOR ESCANEADA E IMPRESA EN 3D**

Autor:

Herrera Gil, Leyre

Tutor:

**Requejo Arranz, Estrella
Magdaleno Martín, Jesús
Construcciones
Arquitectónicas, Ingeniería del
Terreno y Mecánica de Medios
Continuos y Teoría de
Estructuras**

Valladolid, Junio 2019.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS | 11 |
| 1.INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 13 |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES | 15 |
| 1.ESCANEO 3D..... | 17 |
| 1.1. Definición..... | 17 |
| 1.2. Tipos de sistemas | 17 |
| 1.2.1. Con Contacto | 17 |
| 1.2.2. Sin Contacto..... | 17 |
| 1.2.2.1. Activos | 17 |
| 1.2.2.2. Pasivos | 20 |
| 1.3. Tipos de escáner sin contacto..... | 21 |
| 1.3.1. Activos | 21 |
| 1.3.1.1. Escáner fijo..... | 21 |
| 1.3.1.2. Escáner manual | 23 |
| 1.3.1.3. Escáner y dispositivo móvil..... | 26 |
| 1.3.2. Pasivos | 27 |
| 1.3.2.1. Dispositivo móvil | 27 |
| 1.3.2.2. Cámara profesional | 28 |
| 2. PRÓTESIS Y ÓRTESIS..... | 30 |
| 2.1. Definición..... | 30 |
| 2.2. Tipos de prótesis..... | 30 |
| 2.2.1. Pasivas | 30 |
| 2.2.2. Activas | 30 |
| 2.2.2.1. Prótesis microeléctricas | 31 |
| 2.2.2.2. Prótesis mecánicas..... | 31 |
| 2.3. Tipos de Ortesis..... | 32 |
| 2.3.1. Estáticas | 32 |
| 2.3.2. Dinámicas..... | 32 |
| 2.4. Estudio de mercado..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.1. Prótesis..... | 33 |
| 2.4.1.1. miembro superior..... | 33 |
| 2.4.2. Órtesis..... | 35 |
| 2.4.3. Otros productos..... | 39 |
| 2.4.4. Conclusión del estudio de mercado..... | 40 |
| 3. IMPRESIÓN 3D..... | 41 |
| 3.1. Definición..... | 41 |
| 3.2. Principios de la impresión 3D..... | 41 |
| 3.3. Historia..... | 42 |
| 3.4. Tipos de tecnologías..... | 45 |
| 3.4.1. Fotopolimerización..... | 46 |
| 3.4.2. Fusión..... | 46 |
| 3.4.3. Inyección de aglutinante..... | 47 |
| 3.4.4. Inyección de material..... | 48 |
| 3.4.5. Extrusión..... | 48 |
| 3.5. FDM. Fused deposition modeling..... | 49 |
| 3.5.1. Definición..... | 49 |
| 3.5.2. Funcionamiento..... | 50 |
| 3.5.3. Materiales..... | 51 |
| 3.5.4. Aplicaciones..... | 52 |
| CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 55 |
| 1. ESCANEADO 3D..... | 57 |
| 1.1. Objetivos..... | 58 |
| 1.2. Fotogrametría..... | 58 |
| 1.2.1. Condiciones de toma de fotografías..... | 58 |
| 1.2.2. Cámara fotográfica utilizada..... | 60 |
| 1.2.3. Proceso de obtención de fotografías..... | 60 |
| 1.3. SOFTWARE..... | 61 |
| 1.3.1. Creación de nube de puntos..... | 61 |
| 1.3.2. POST PROCESADO..... | 63 |
| 1.4. RESULTADO FINAL..... | 64 |
| 1.4.1. Primeros escaneados descartados..... | 66 |

| | |
|---|----|
| 1.5. Conclusión..... | 67 |
| 2. DISEÑO PERSONALIZADO..... | 68 |
| 2.1. Objetivos..... | 68 |
| 2.2. Condiciones de la férula..... | 69 |
| 2.2.1. Consideraciones antes del diseño | 69 |
| 2.2.2. Descripción de la férula..... | 69 |
| 2.2.3. Referentes anatómicos | 70 |
| 2.2.4. Uso, control y mantenimiento | 71 |
| 2.3. Inspiración | 71 |
| 2.4. Diseño de la órtesis | 72 |
| 2.4.1. Primeros bocetos | 72 |
| 2.4.2. Idea definitiva | 75 |
| 2.4.3. Desarrollo de la idea..... | 76 |
| 2.4.3.1. Elección del diseño..... | 76 |
| 2.4.3.2. Descripción de los elementos..... | 76 |
| 2.4.3.3. Adaptación brazo y férula | 79 |
| 2.4.3.4. Montaje | 79 |
| 2.4.4. Resultado final-renders | 81 |
| 2.4.5.1. Software..... | 83 |
| 2.4.5.2. Creación del modelo 3D..... | 84 |
| 2.4.5.3. Adaptación para distintos brazos | 89 |
| 2.4.6. Resultado final- 3D en Catia..... | 89 |
| 2.5. Imagen corporativa | 90 |
| 2.5.1. La marca..... | 90 |
| 2.5.2. El color | 90 |
| 2.5.3. La tipografía | 90 |
| 2.5.4. El logotipo..... | 91 |
| 2.6. Conclusión..... | 91 |
| 3. IMPRESIÓN 3D | 92 |
| 3.1. Objetivos..... | 93 |
| 3.2. Impresora 3D..... | 93 |
| 3.3. Material | 94 |
| 3.4. Software..... | 95 |

| | |
|---|------------|
| 3.5. Proceso de fabricación | 96 |
| 3.5.1. Posicionamiento y formato del modelo: | 96 |
| 3.5.2. Parámetros e instrucciones en simplify 3D: | 96 |
| 3.5.3. Algunos parámetros importantes a tener en cuenta | 97 |
| 3.5.4. impresión 3D | 98 |
| 3.5.5. Acabado superficial | 99 |
| 3.5.6. Montaje | 99 |
| 3.6. Resultado final | 101 |
| 3.6.1. Impresiones descartadas | 102 |
| 3.7. Conclusión | 105 |
| CAPÍTULO 04: PLANOS | 107 |
| CAPÍTULO 05: PRESUPUESTO | 119 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PRESUPUESTO | 121 |
| 1.1. Escaneado 3D | 121 |
| 1.2. Diseño | 121 |
| 1.3. Impresión 3D | 121 |
| 1.4. Montaje | 122 |
| 2.PRESUPUESTO FINAL | 122 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS | 127 |
| CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA | 133 |

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se hace una investigación y desarrollo de una férula aplicando técnicas de la ingeniería al campo de la medicina. Hoy en día los avances en la tecnología evolucionan velozmente beneficiándonos en nuestro ámbito laboral y social. Por ello, he hecho un análisis de dos tecnologías punteras: el escaneado 3D y la impresión 3D. Gracias a ellas se pueden diseñar prótesis y órtesis totalmente adaptadas al cuerpo humano.

Propongo un proceso de creación de una férula, donde se empezará usando la fotogrametría para escanear la parte del cuerpo a inmovilizar, y después con un software se procesará esa información y se diseñará una férula totalmente personalizada. A continuación, se fabricará con una impresora 3D, consiguiendo un diseño atractivo, una ligereza y una total adaptación, sustituyendo así a las órtesis de yeso convencionales y mejorando el día a día de las personas.

PALABRAS CLAVE

Escaneado 3D

Fotogrametría

Férula

Adaptación

Impresión 3D



INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, cuando sufrimos alguna fractura en un miembro superior y necesitamos conseguir una inmovilización, se colocan órtesis de yeso, comúnmente conocido como escayola. Es un dispositivo muy eficiente para la recuperación de la lesión, pero tiene algunas desventajas:

- Son muy pesados, de aproximadamente 1 kg para cubrir miembros superiores, y por lo tanto incómodos.

- Las mangas de algunas prendas de ropa pueden no entrar por el brazo escayolado, ya que son muy gruesas.

- No son sumergibles, por lo que no puedes nadar, ducharte o fregar los platos, aunque para asearte el resto del cuerpo se puede colocar una bolsa alrededor de la escayola. Esto hace que sea bastante antihigiénico.

- Pueden resultar muy molestas, impedirte hacer ciertas actividades y estáticamente pobres.

- Se deben de reemplazar cada cierto tiempo, principalmente por higiene.

En este proyecto se pretende diseñar una férula impresa en 3D y el proceso llevado a cabo para la obtención de la misma, utilizando unos recursos mínimos para que cualquier persona sea capaz de llevar a cabo este proceso, siempre con unos conocimientos previos. Se usarán dos tecnologías que están evolucionando velozmente: el escaneado 3D y la impresión 3D, combinando así la ingeniería y la medicina. Gracias al escaneado se podrá obtener un diseño del brazo a inmovilizar para posteriormente hacer un diseño de una férula totalmente adaptada y personalizada con el apoyo de herramientas CAD. Gracias a la impresión 3D, su fabricación será más rápida y sencilla, utilizando un material degradable, sumergible, y apto con el contacto de la piel y los alimentos. Se conseguirá diseñar un producto novedoso muy estético que a su vez nos aportará ligereza y por lo tanto de bajo coste.

El desarrollo de la órtesis que se ha llevado a cabo está dividido en 3 fases: escaneado 3D del brazo lesionado, diseño personalizado CAD e impresión 3D del prototipo. En este proyecto se ha desarrollado el diseño para adaptarlo a mi propio brazo derecho y poder imprimir un primer prototipo funcional.

2. OBJETIVOS

Antes de empezar con el desarrollo del proyecto se han marcado unos objetivos previos que se van a ir desarrollando en cada una de las fases, pero a su vez relacionadas entre sí. Esto nos ayudará a acotar nuestra investigación sobre el tema y conseguir nuestro objetivo final.

Objetivos del escaneado 3D:

- Escaneado 3D de mi propio brazo derecho. Por consiguiente, un modelo 3D del mismo.
- Aparato de escaneado de bajo coste, que sea apropiado para el cuerpo humano.
- Software de procesamiento del escaneado de bajo coste.
- Accesible y fácil de usar para cualquier usuario con conocimientos previos.
- Calidad medio-alta del miembro a escanear.

Objetivos del diseño:

- Inmovilizar y proteger la muñeca del paciente para que pueda tener una buena rehabilitación de la zona afectada.
- Permitir realizar deporte y/o vida cotidiana.
- Adaptar la férula a cada paciente, y por lo tanto que su posterior modificación sea lo más sencilla posible y rápido. Bajo coste.
- Material de la férula debe ser sumergible en agua, para poder nadar y/o ducharse sin problema.
- Diseño atractivo y personalizable.
- Facilitar las revisiones del médico mediante el diseño de agujeros para dar visibilidad a la zona lesionada y así no tener que abrir la férula para examinar el brazo.
- Que permita transpirar a la piel y que sea fácil de limpiar.
- Uniones invisibles para un diseño más limpio y adaptativo, apto con el contacto de la piel.
- Ligereza y comodidad.
- Impresa totalmente, o casi en su totalidad, en 3D totalmente adaptada a mi brazo.

Objetivos de la impresión 3D:

- El material de la férula tiene que ser ligero, de bajo coste, biodegradable, sumergible en agua, duro pero con cierta flexibilidad, fácil de imprimir y accesible, y lo más importante, apto para el contacto humano y alimenticio.
- La marca de la impresora debe tener la capacidad de imprimir la férula, ya que tiene una geometría compleja, por sus curvas, huecos y agujeros, y un espesor pequeño.
- Pegamento que una los imanes con el material de la férula, y a su vez apto para el contacto humano y alimenticio, y que pueda sumergirse en agua sin perder sus propiedades.

2

ANTECEDENTES

1. ESCANEADO 3D

1.1. Definición

Un escáner 3D es un aparato capaz de capturar la forma geométrica de un objeto real, persona, animal...etc o una escena y construir un modelo digital tridimensional de él, con la ayuda de un software.

Se obtiene una nube de puntos que posteriormente los reconstruye y los une, de esta manera se obtiene el modelo 3D. Pueden llegar a capturar geometrías complejas, colores y texturas, según el hardware y software utilizado.

Sus aplicaciones son muy variadas utilizándose en diferentes sectores como patrimonio, ingeniería, medicina, arquitectura, arqueología, topografía, videojuegos...

1.2. Tipos de sistemas

Existe una variedad de tecnologías, por lo que se van a dividir en dos tipos de escáneres 3D en función de si existe contacto o no con el objeto a escanear.

1.2.1. Con Contacto

Este tipo de escáner está compuesto por un palpador, típicamente con punta de acero duro o zafiro, que va recorriendo la pieza apoyando el palpador sobre la superficie del mismo. Gracias a unos sensores internos permiten determinar las coordenadas XYZ del objeto y obtener un modelo tridimensional. Tienen una gran precisión de escaneado, pudiéndose obtener hasta 0,01mm de precisión. Su aplicación más común es en control dimensional.

Su mayor desventaja es que requiere de contacto físico con el objeto, por lo que puede dañar su superficie e incluso modificarla. Por esto mismo, no se puede usar en objetos históricos o de valor, ni en el cuerpo humano, por lo que queda descartado del proyecto. Además, el proceso de escaneado es muy lento comparado con los escáneres sin contacto.

1.2.2. Sin Contacto

El escaneado sin contacto se puede dividir entre activos y pasivos:

1.2.2.1. Activos

Los sistemas activos emiten algún tipo de onda que se dirige al objeto que queremos escanear, éste refleja la onda y el resultado es captado por los sensores del sistema que recogen los datos. Una vez terminado el proceso de escaneado, se envía al software correspondiente que se encarga de generar una malla de puntos en el espacio tridimensional, es decir, un modelo 3D.

a. Tiempo de vuelo

La tecnología de tiempo de vuelo (Time of Flight) emite haces de luz pulsada hacia un objeto y mide el tiempo que tardan en regresar, para deducir la distancia al objeto. Los escáneres láser visible (verdes) o invisibles (infrarrojo cercano) de tiempo de vuelo típicos pueden medir la distancia de 10 000 ~ 100 000 puntos cada segundo.

La velocidad de la luz C es conocida, el tiempo del viaje de ida y vuelta determina la distancia del viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie. Si T es el tiempo del viaje completo, entonces la distancia es igual a $(C * T) / 2$.

Como características a destacar decir que es de rápido muestreo, son equipos de alta precisión, aunque dependerá del apartado que se use, y que generen una alta densidad de puntos. Son aptos para escaneado de monumentos, elementos constructivos y topografía donde se puedan apreciar las deformaciones.

Este tipo de aparatos quedan descartados del proyecto ya que su aplicación es en el ámbito de la topografía y patrimonio.

b. Triangulación

La técnica de triangulación emite una luz láser para determinar la forma y posición, su ubicación, de un objeto que será digitalizado. Posteriormente, un sensor se encarga de recoger la luz del láser que es reflejada desde el objeto, y gracias a los cálculos de triangulación trigonométrica que el escáner realiza internamente, se calcula la distancia del objeto al escáner.

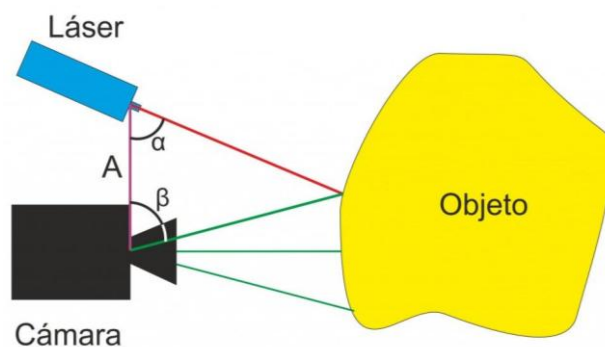


Ilustración 1: Esquema de triangulación

Esta técnica se llama triangulación porque el emisor del láser, la cámara y el objeto a escanear forman un triángulo. El lado A del triángulo que forman la cámara con el emisor del láser es conocido. El ángulo α que forma el emisor láser con la cámara también lo conocemos y el ángulo del vértice de la cámara β puede ser determinado localizando la ubicación del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio y poder formar la nube de puntos.

La precisión puede ser muy elevada, milésimas de milímetro, pero depende del ángulo del vértice opuesto al escáner (cuanto más se aparte de 90° más baja es la precisión), lo que limita el tamaño de la escena a analizar. Esto hace que el alcance máximo de estos escáneres se limite a 20-30 cm.

c. Diferencia de fase

El funcionamiento de los escáneres 3D de diferencia de fase se basa en la emisión de una serie de ondas láser de diferente longitud de onda sobre el objeto, que al ser reflejadas y recibidas de nuevo en el escáner se puede determinar la distancia al objeto, comparando la fase de las ondas emitidas con las recibidas.

El rango y la precisión de este tipo de escáner son intermedios, situándose como una solución entre el largo alcance de los dispositivos de tiempo de vuelo y la alta precisión de los escáneres por triangulación. Su alcance se comprende entre 120 y 300 m en condiciones de poco ruido, y su precisión ronda los 2 mm por cada 25 m.

En algunos modelos el alcance está limitado precisamente por su modo de funcionamiento, ya que al modular el haz con una frecuencia constante, existe ambigüedad en la medida de la distancia proporcional a la longitud de onda de la modulación utilizada. La velocidad de adquisición es muy alta, consiguiendo los modelos actuales velocidades de escaneo que oscilan entre los 100.000 y 1 millón de puntos por segundo.

Este tipo de escáner es apto para la generación de planos de plantas industriales, comprobación de túneles y en el campo patrimonial por lo que queda descartado para nuestro proyecto.

d. Holografía conoscópica

La holografía conoscópica es una técnica de interferometría, basada en la propagación de la luz en cristales birrefringentes, es decir, un cristal que posee dos índices de refracción, uno ordinario y fijo, y otro extraordinario que depende del ángulo de incidencia del rayo en la superficie del cristal. Como resultado se obtienen dos rayos paralelos que se hacen interferir utilizando para ello una lente cilíndrica, esta interferencia es capturada por el sensor de una cámara convencional obteniendo un patrón de franjas. La frecuencia de esta interferencia determina la distancia del objeto en el que se proyectó el haz.

Su aplicación es muy variada, desde ingeniería inversa hasta inspección de defectos superficiales en la industria ya que permite la medición de orificios en su configuración colineal, alcanzando precisiones entorno a una micra. La fuente de iluminación es monocromática. Por todo ello, queda descartado este tipo de escaneado para este proyecto.

e. Luz estructurada

El escáner de luz estructurada es un dispositivo capaz de capturar la forma y características de un objeto mediante la proyección de un patrón de luz, sobre el objeto que queremos escanear, y analizar la deformación del patrón producida por la geometría de la escena.

Una cámara, desviada levemente del proyector de modelo, capta la forma del objeto y usa una técnica semejante a la triangulación para calcular la distancia de cada punto en el objeto. La técnica más rápida y versátil es la proyección de un patrón de rayas o de reja que va generando una deformación del patrón sobre el objeto y se va

registrando gracias a la cámara. Para un escaneado completo se necesitará múltiples escaneos, un barrido, por todo el objeto a escanear.

La ventaja de los escáneres 3D de luz estructurada es la velocidad y la precisión. En vez de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o el campo entero del panorama inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación del movimiento.

Una de las limitaciones es la incapacidad de escanear superficies reflectantes, transparentes o translúcidas. Para ello, se suele recubrir con laca opaca los objetos. Uso en establecimientos interiores.

1.2.2.2. Pasivos

Los escáneres pasivos no emiten ninguna clase de radiación por sí mismos, pero detectan la luz visible porque es una radiación ya disponible en el ambiente. Otros tipos de radiación, tal como el infrarrojo podrían ser utilizados también. Suelen ser muy baratos, porque en la mayoría de los casos éstos no necesitan hardware particular. Después mediante un software, como los activos, se puede generar una malla de puntos para crear nuestro modelo 3D.

a. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que consiste en la creación de modelos en 3D a partir de fotografías 2D realizadas mediante una cámara fotográfica, para obtener características geométricas del objeto, sus dimensiones y posición en el espacio. No existe un contacto físico con el objeto y se puede realizar fotografías tanto con un smartphone como una cámara profesional. La precisión dependerá del aparato que se utilice y del software que procese la nube de puntos y cree una relación de puntos entre las imágenes.

Como ventajas podemos encontrar que es una técnica muy accesible, ya que la mayoría de la gente dispone de una cámara, y por lo tanto muy barato. También, se puede fotografiar cualquier tipo de objeto, terreno, personas... Por lo que tiene una gran variedad de aplicaciones. Como desventajas podemos encontrar que la precisión depende en gran medida de la iluminación y del contraste entre el objeto. Los brillos también pueden ensuciar las escenas.

b. Estereoscópicos

Los sistemas estereoscópicos utilizan el mismo principio de la fotogrametría, utilizando la medida de la paralaje entre dos imágenes para determinar la distancia de cada pixel de la imagen. Emplean generalmente dos cámaras, con una leve separación, mirando a la misma escena. Posteriormente, analizando las leves diferencias entre las imágenes vistas por cada cámara, es posible determinar la distancia en cada punto en las imágenes. Este método se basa en la visión estereoscópica humana.

1.3. Tipos de escáner sin contacto

Se van a presentar los tipos de escáner 3D que existen en el mercado según la tecnología usada y los objetivos propuestos. Se especificarán características que nos sean útiles como son sus aplicaciones, precisión y precio para así poder elegir el aparato de escaneado más accesible para este proyecto.

Los objetivos que debe cumplir nuestro aparato de escaneado es que sea apto para escaneado del cuerpo humano, una precisión media-alta y un precio asequible tanto del software como del hardware.

1.3.1. Activos

1.3.1.1. Escáner fijo

Este tipo de escáner 3D se caracteriza por obtener un escaneado de un objeto, generalmente de pequeñas dimensiones, colocado en una mesa giratoria y un escáner situado a cierta distancia y fijo. La mesa va girando y el escáner se encarga de registrar toda la información de la geometría del objeto. Podemos encontrar dos tipos de escáner según su tecnología: Luz estructurada o láser por triangulación. Todos ellos vienen incorporados con un software que procesa la nube de puntos y te crea el modelo 3D.

Algunos ejemplos son:

a. Luz estructurada

EINSCAN-S



Escáner fijo con mesa giratoria que usa la tecnología de la luz estructurada para su escaneado. Puede usarse un escaneado automático, recomendado por el fabricante, o libre, pudiendo variar la distancia entre el escáner y la mesa giratoria.

El objeto, que se coloca en la mesa giratoria, no debe de pesar más de 3,5 Kg y tener un volumen comprendido entre 20x20x20cm y 70x70x70 cm. Es de uso profesional ya que puedes conseguir una precisión alta, de hasta 0,1mm.

El precio de este aparato es de 1300€.

Ilustración 2: Escáner Einscan-S



SHINING 3D EinScan-S

Ilustración 3: Modelos 3D mediante Einscan- S

b. Triangulación

MATTER AND FORM



Ilustración 4 Escáner Matter and Form

Escáner fijo con mesa giratoria que usa la tecnología de la triangulación mediante un láser. La distancia de la mesa giratoria y el escáner es fija, pudiéndose recogerse como un maletín.

El objeto que se coloca en la mesa giratoria no debe de pesar más de 3kg ni sobrepasar una altura de 25cm y 18cm de diámetro. Es de uso profesional ya que su precisión es alta, de hasta 0,25mm.

El precio de este aparato es de 400€.



Ilustración 5: Objeto escaneado y modelo 3D de una estatua mediante Matter and Form

1.3.1.2. Escáner manual

Los escáneres manuales puedes sujetarlos con la mano y usarlos libremente. La ventaja frente a los fijos es que puedes escanear objetos mucho mayores e incluso personas. Podemos encontrar dos tipos de escáner según su tecnología: luz estructurada o triangulación por láser. Todos ellos vienen incorporados con un software que procesa la nube de puntos y te crea el modelo 3D.

Algunos ejemplos son:

a. Luz estructurada

CUBIFY SENSE



Ilustración 6: Escáner Cubify Sense

Este aparato usa la tecnología de luz estructurada con sensor mediante infrarrojos. Se puede usar tanto en interiores como exteriores. Es de uso semiprofesional, obteniendo una precisión de 0,9-1mm. El volumen que es capaz de escanear es de 0,2x0,2x0,2m a 3x3x3m y con un alcance de 0,35-3m. El precio de este aparato oscila entre 350 y 500€, ya que hace poco sacaran la segunda versión. La diferencia está sobre todo en la

resolución de las imágenes, se pasa de 240x320px a 1920x1080, aunque su alcance se reduce a la mitad.



Ilustración 7: Modelo 3D de una persona mediante Sense y Sense 2

EINSCAN-PRO



Ilustración 8: Escáner Einscan-Pro

Escaneado mediante la tecnología de la luz estructurada sin contacto con luz blanca led. Es de uso manual, pero gracias a la incorporación de otros elementos, puedes usarlo de forma fija si así lo necesitas. Es de uso profesional, pudiendo adquirir de 0,1 a 0,05 mm de precisión por lo que su aplicación más común es en el área de la medicina e ingeniería inversa. La calibración y alineación lo hace de forma automática. El volumen que llega a escanear es de 0,03 a 4m, con un alcance de 210x150mm.

El precio de este aparato es de 3300€, y con la compra del pack completo puede llegar a costar 4500€.



Ilustración 9: Escaneado 3D y modelo 3D de una estatua mediante Einscan-Pro

ARTEC EVA LITE



Ilustración 10: Escaner Artec Eva Lite

Escáner 3D que usa la tecnología de la luz estructurada mediante led blanco sin contacto. Está especializado en el área de la medicina, por lo que es de uso profesional y tiene una autonomía de hasta 6 horas. No capta textura ni color y no utiliza marcadores ni calibración manual. Su precisión mínima es de 0,5mm, tiene un alcance de 0,4-1m y un volumen de escaneado de 5x5x5cm a 100x100x200cm.

Su precio es de 6700€, pero puedes actualizarlo a ARTEC EVA por 13700€ que tiene la misma precisión pero puede captar textura y color.

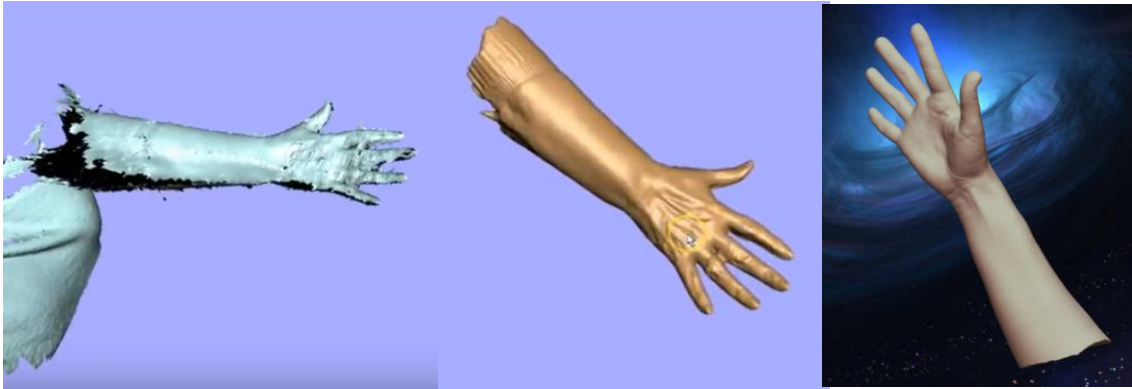


Ilustración 11: Modelo 3D de un brazo mediante Artec Eva Lite

b. Triangulación

XYZ SCAN HANDY



Escáner 3D que usa la tecnología de triangulación mediante un láser. Es de uso semiprofesional ya que su precisión es de 1-2,5mm, y el software que viene incorporado para procesar la nube de puntos es de peor calidad frente a los de luz estructurada. El volumen que es capaz de escanear es de 5x5x5cm a 100x100x200cm y un alcance de 30-70cm.

El precio de este aparato es de 230€.

Ilustración 12: Escáner XYZ Scan Handy

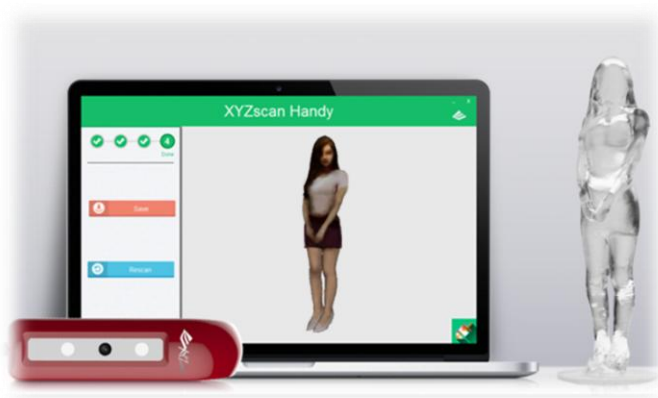


Ilustración 13: Modelo 3D de una persona y su posterior impresión en 3D mediante XYZ Scan Handy

1.3.1.3. Escáner y dispositivo móvil

Este tipo de escáneres son aparatos que no pueden utilizarse por sí solos, si no que se utilizan acompañados con un dispositivo móvil como puede ser un Smartphone, iPhone o iPad. La diferencia es que estos aparatos no poseen de cámara, por lo que utilizan la del dispositivo móvil que a su vez funciona como software.

a. Luz estructurada

STRUCTURE SENSOR



Ilustración 14: Escáner Structure Sensor

Este escáner 3D usa la tecnología de luz estructurada con sensor mediante infrarrojos. El aparato se adapta a un iPad o iPhone. Tiene una autonomía de 4 horas y es de uso semiprofesional. El dispositivo móvil necesita instalarse una app para el procesamiento de la de software propio. Todo esto hace que la precisión varíe ya que dependerá de la cámara del

dispositivo y de la app que se instale en éste. Es un escáner muy versátil ya que es usado incluso para ortopedia consiguiendo una calidad de hasta 0,5mm.

El precio del aparato es de 350€. El precio del software dependerá de la app que instales al dispositivo móvil, habiendo una gran variedad de opciones. Algunas apps que podemos encontrar son Captevia y itSeez3D.



Ilustración 15: Modelo 3D de una persona con Structure sensor + iPad mini2 (5mpx)+app itSeez3D 4,1

b. Triangulación

EORA 3D

Este escáner 3D utiliza la tecnología de triangulación mediante láser verde industrial. El aparato dispone de una plataforma giratoria donde se posa el objeto a escanear y va girando mientras el aparato incide una línea láser sobre él. El smartphone o iphone se encarga de registrar mediante su cámara el escaneado y mediante un software propio procesa la información. No admite un objeto de más de 0,95Kg ni una distancia mayor de 1m. Su precisión es de 0,5mm y el precio es de 260€.



Ilustración 16: Modelo 3D de una cabeza de dinosaurio mediante Eora 3D y su escaneado 3D.

1.3.2. Pasivos

1.3.2.1. Dispositivo móvil

Uso de Smartphone o iphone para toma de fotografías con el uso de la tecnología de la fotogrametría. Previamente se debe instalar una app para poder sacar las fotografías y procesar la nube de puntos.

SCANN 3D

Esta app nos permite hacer un escaneado mediante fotografías. Necesitamos un Smartphone con sistema operativo android e instalar la app. Se deben de sacar entre 30-30 fotografías y la app se encarga del procesamiento de la nube de puntos. No es de uso profesional y es gratuito, pero algunas opciones son de pago.



Ilustración 17: Modelo 3D de una persona mediante escaneado con Scann 3D; Cámara: Google Nexus5, Software: Scann3D

QLONE

La app Qlone nos permite escanear mediante fotogrametría. Para ello, necesitamos un iPhone o iPad para instalar la app. Incluye herramientas de edición de malla. Para sacar las fotografías, se necesita una alfombrilla calibrada. Existen empresas que utilizan este método, Synchronos de la que se hablará más adelante. Es gratuito pero por cada exportación de archivos te cobran.

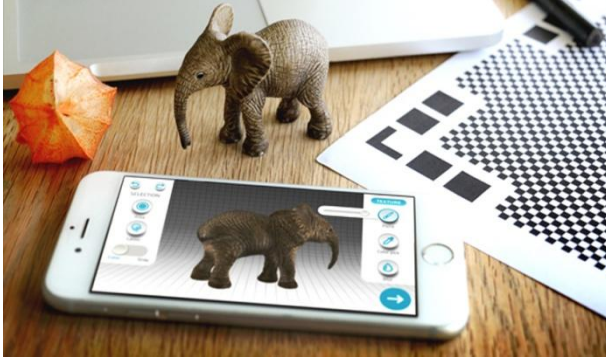


Ilustración 18: Objeto y modelo 3D mediante escaneado Qlone

1.3.2.2. Cámara profesional

Uso de cámara fotográfica semiprofesional o profesional para toma de fotografías con el uso de la tecnología de la fotogrametría. Se toman fotografías del objeto y después mediante un programa instalado previamente en un ordenador, se procesan las imágenes para crear una nube de puntos y obtener un modelo 3D del objeto al que podremos modificar su malla si así lo necesitáramos.

3DF ZEPHYR

Este programa nos permite crear una nube de puntos a partir de fotografías, como máximo 50 fotografías en la versión gratuita. Está contemplado para un uso personal y objetos con geometrías sencillas, ya que la nube de puntos es bastante escasa. También tiene versiones mejoradas como Lite, Pro y Aerial costando 149€, 2400€, 3900€. Estas versiones son de uso profesional ya que puedes subir hasta 500 fotografías e incluso sin límite y te permite hacer una edición avanzada de la malla, mejorando la textura del objeto y su precisión.

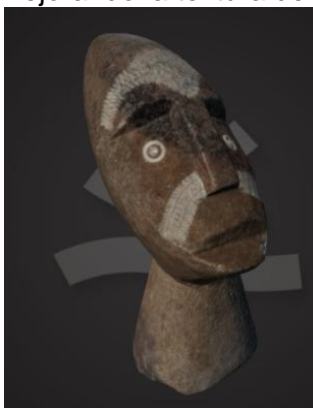


Ilustración 19: Modelo 3D de voodoo procesado mediante 3DF ZEPHYR FREE

AUTODESK RECAP PRO

Este programa nos permite realizar un modelo 3D de un objeto o del cuerpo humano, utilizando como máximo 100 fotografías. Gracias a la licencia de estudiante, se puede adquirir este programa gratuito durante 3 años. Tiene muy buenas referencias ya que es capaz de realizar un modelo 3D en cuestión de minutos y hacer una limpieza inteligente, y si no quedas satisfecho con el resultado te permite modificar la malla. Su precisión es muy alta, aunque dependerá de la calidad de las fotografías.



Ilustración 20: Modelo 3D de cabeza de caballo procesado mediante Autodesk Recap Pro

AGISOFT PHOTOSCAN

Agisoft fotoscan es un programa que nos permite realizar una nube de puntos, de calidad alta, a partir de fotografías realizadas con una cámara. No hay un límite de fotografías y además, te deja alinear dos series de fotografías del mismo objeto para hacer una nube de puntos más acorde a la realidad y poder modificarla. Este programa es de pago, pero puedes descargarla la versión gratuita de 30 días.



Ilustración 21: Modelo 3D de una persona procesado mediante Agisoft Photoscan

2. PRÓTESIS Y ÓRTESIS

2.1. Definición

Una prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que no existe bien por amputación o agenesia. Las prótesis ortopédicas se suelen emplear para sustituir la función del miembro natural que falta, pero también puede realizar una función estética, como por ejemplo prótesis mamarias u oculares, o reemplazar una función perdida del cuerpo.

Una órtesis es un dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. Se pueden clasificar en órtesis estáticas y dinámicas.

La principal diferencia de estas dos ayudas es la de que las prótesis sustituyen una parte del cuerpo mientras que las órtesis la apoyan o complementan para reforzar sus funciones sin llegar a sustituirlo.

2.2. Tipos de prótesis

Según la función que desempeñan podemos encontrar prótesis, para miembro superior, pasivas y activas.

2.2.1. Pasivas

Su función es solamente estética, es decir, sirven para restablecer el aspecto exterior. Los más comunes son las prótesis que se asemejan a otros miembros corporales de la misma persona, sin llegar a ser móviles.



Ilustración 22: Prótesis pasivas de manos y dedos

2.2.2. Activas

Su función principal es dotar al paciente de movilidad en el miembro ausente. Un ejemplo sería una prótesis de mano que dotaría al paciente de movilidad para agarrar objetos. Según la tecnología usada se pueden encontrar:

2.2.2.1. Prótesis microeléctricas

Los sensores incorporados a las prótesis leen las corrientes eléctricas que envían las contracciones musculares, pudiendo mediante los mismos y con los componentes adecuados, controlar tanto el movimiento de la mano, como los del codo y la muñeca. Permite obtener una gran cantidad de movimientos, pero es una tecnología más compleja, pesada y por lo tanto poco económica.



Ilustración 23: Prótesis biónica de codo a mano

2.2.2.2. Prótesis mecánicas

Son prótesis con dispositivos de apertura y cierre mediante cables y cintas de sujeción unidos al cuerpo y se abren o cierran a voluntad por la tracción ejercida por el tensor. Son funcionales, pero tienen limitaciones de movimiento, ya que necesitan de la energía propia. La gran ventaja es que suelen ser más ligeros y muy económicos.



Ilustración 24: Prótesis de mano

2.3. Tipos de Ortesis

Según la función que desempeñan podemos encontrarnos con órtesis estáticas y dinámicas para miembro superior.

2.3.1. Estáticas

Son órtesis posicionales ya que su función principal es impedir el movimiento, es decir, mantener una determinada postura. Se suelen utilizar cuando la persona ha sufrido una fractura y/o una inflamación de tendones o alguna parte blanda.



Ilustración 25: órtesis de muñeca

2.3.2. Dinámicas

Son órtesis funcionales o cinéticas ya que su función principal es permitir o facilitar el movimiento. Se suelen utilizar para ayudar al movimiento de músculos debilitados.

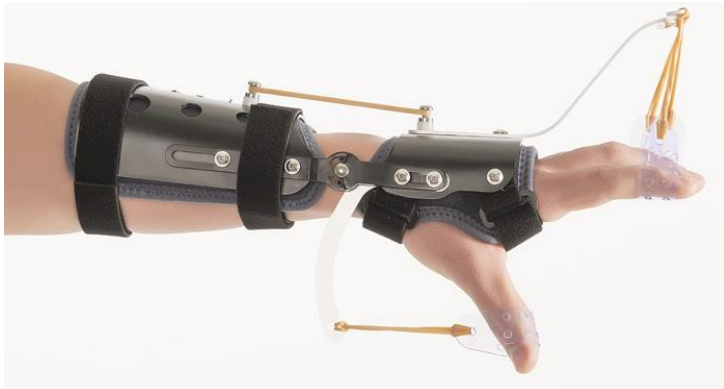


Ilustración 26: Órtesis para parálisis radial

2.4. Estudio de mercado

Antes de empezar a desarrollar el proyecto se ha realizado un estudio de mercado de prótesis y órtesis, tanto de miembro inferior como superior, centrándome en empresas que fabriquen estos productos mediante impresoras 3D y/o usen un sistema de escaneo 3D para la obtención del modelo del miembro a inmovilizar. También mencionaré algunas empresas que usen alguna de estas tecnologías para la fabricación de otros productos. Gracias a éste, se estudia que existe en el mercado y qué solución o novedad podemos incorporar en la férula diseñada.

2.4.1. Prótesis

2.4.1.1. miembro superior

GUILLERMO MARTÍNEZ



Ilustración 27: Prótesis de miembro superior impresas en 3D por Guillermo Martínez

Un estudiante de la Universidad Rey Juan Carlos, Guillermo Martínez, diseñó en verano de 2017 prótesis impresas en 3D para discapacitados en Kenia. Su diseño surge a partir del diseño de mano prensil del proyecto e-nable, realizado por la asociación de voluntarios *Enabling the Future*, que ofrece la posibilidad de fabricar manos artificiales por menos de 40€.

Las prótesis que ha diseñado son capaces de agarrar y sujetar objetos para así facilitar la vida cotidiana de las personas. Él solo es capaz de crear prótesis en 3 días por tan solo 25 €. No usa ningún aparato de escaneo 3D pero utiliza la técnica de ensamblado con termoconformado, moldeando la pieza para conformarla hasta su forma final y así ensamblar las piezas que componen la prótesis. Los materiales usados son el PLA para la impresión, gomas para aparato dental e hilo de pescar. Para una mejor adaptabilidad a la persona usa tiras de velcro.

ATOMIC LAB



Ilustración 28: Prótesis de mano impreso en 3D para un niño de Atomic Lab

Atomic Lab dice que son “una organización no gubernamental sin fines de lucro, que tiene como objetivo crear soluciones que cambien la vida de millones de personas en el mundo mediante las últimas tecnologías.” Fabrican prótesis de manos y brazos con material PLA e impresos en 3D. Su precio está entre 14-25€ por coste de material. Esta empresa no pide dinero a sus pacientes, pero aceptan donaciones y voluntarios para llevar a cabo este proyecto.

La prótesis es capaz de agarrar objetos y es muy ligero. Su adaptación al muñón del paciente es mediante cintas con velcro. Su parte interior está recubierta de un material que impide las rozaduras con la piel.

2.4.1.1. Miembro inferior

UNIQ



Ilustración 29: Carcasa de miembro inferior impreso en 3D por Uniq

UNYQ Armor™ es una empresa que diseña y fabrica, desde 2016, covers protésicos personalizados de miembro inferior. Para conseguir una cover totalmente personalizada, la empresa dispone de un software que puedes instalar en tu teléfono móvil y sacar fotografías de la pierna sana y así reproducirla exactamente igual. Puedes elegir uno de los diseños que disponen en la página web y ellos se encargan de fabricarla mediante impresión 3D. Las covers se adaptan a cualquier componente

protésico del mercado, independientemente del fabricante, gracias a una abrazadera interior que se fija mediante tornillos. Cada cover dispone de dos partes fijadas magnéticamente. El material que utilizan es la poliamida ofreciendo durabilidad y ligereza, pesando menos de 500g y su precio oscila entre los 500€.

AQUA LEG

Aqualeg ofrece una prótesis personalizada de pierna para usos extremos. El material con el que está fabricado se elimina el riesgo de crecimiento bacteriano, ofrece resistencia a la mayoría de productos químicos y una gran resistencia a los rasguños y choques. A su vez, esta prótesis es capaz de resistir a muy altas temperaturas y es compatible con el uso del agua, pudiéndote sumergir ya que ofrece una flotabilidad neutra. Para el pedido de esta prótesis se apoyan de una aplicación propia que se utiliza mediante un Ipad y un aparato de escaneado 3D, Structure Sensor mencionado anteriormente. Escanean mediante luz estructurada la pierna sana y ellos se encargan de realizar un modelo 3D personalizable y posteriormente fabricarlo mediante impresión 3D.



Ilustración 30: Prótesis de miembro inferior Aqua Leg por Uniq

2.4.2. Órtesis

2.4.2.1. Miembro superior

EXOVITE

Exovite diseñó en 2015 una férula para la inmovilización y rehabilitación de pacientes a los que se les ha detectado huesos rotos o lesiones musculares, poniendo fin a las molestas escayolas de yeso. Con ello consiguieron mejorar la calidad de vida del paciente que a su vez optimiza los recursos en los tratamientos médicos.

La férula que diseñaron conjuga la tecnología de la impresión 3D y la electroestimulación. La parte de inmovilización la consiguieron, primeramente, escaneando la extremidad del paciente por medio de Exoscan, de diseño propio y que utiliza luz estructurada, que después es enviada a la impresora 3D mediante un software propio. Cabe decir que la férula se imprime directamente sobre el mismo brazo del paciente, consiguiendo que se realizara en menos de 5 minutos, y que fuese un 75% más ligera que la escayola, tan sólo 350 gr.

Usan materiales biocompatibles como termoplásticos y siliconas que alcancen como máximo los 30°C, para no dañar la piel del paciente.

El electroestimulador de baja frecuencia sirve para rehabilitar el brazo lesionado mediante un software que permite al médico dirigir el tratamiento y al paciente seguirlo con la máxima comodidad desde su domicilio. Con esto consiguieron que la extremidad lesionada del paciente no perdiese masa muscular al estar inmovilizado tanto tiempo, reducir el dolor y mejorar el proceso de curación del hueso. Consiguieron con este diseño que la inmovilización y rehabilitación que rondaba unas 10 semanas, solamente durara 7 semanas.



Ilustración 31: Férula impresa en 3D y electroestimulador de Exovite

CORTEX EXOSKELETON

En 2013 crearon una férula de nylon impresa en 3D, sustituyendo así a las escayolas tradicionales. Con este proyecto obtuvieron una férula más resistente, más ligera y mucho más adaptable al miembro a inmovilizar, además ayudando a la transpiración de la piel, lo que previene la aparición de hongos y rozaduras. Su forma de unión es a través de un mecanismo de bloqueo.

Para conseguirlo, primeramente, escanean el miembro con un aparato que usa luz estructurada y es especializado en el área de la medicina, y se combina con una radiografía de la zona lesionada. Con esto crean un modelo de la férula que se adapta a la fisonomía del paciente y así poder acortar el tiempo de recuperación de la lesión. Después la fabrican mediante impresión 3D, estimando un tiempo de fabricación de unas 3 horas.

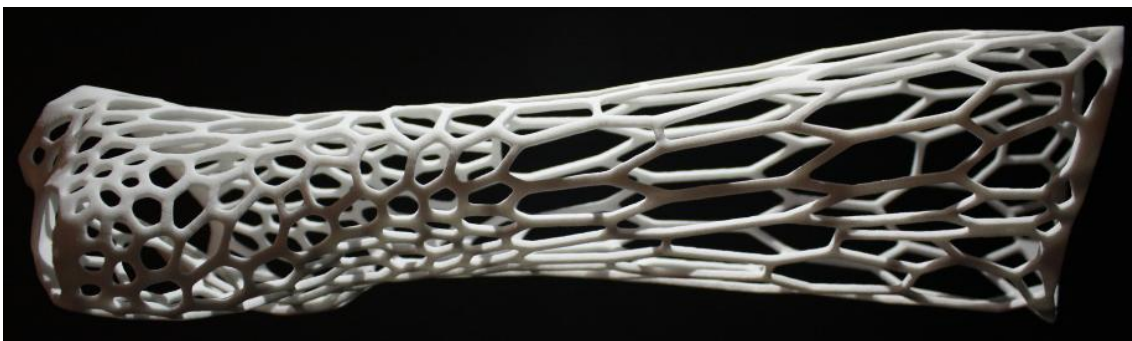


Ilustración 32: Férula de miembro superior de Cortex Exoskeleton

XKELET

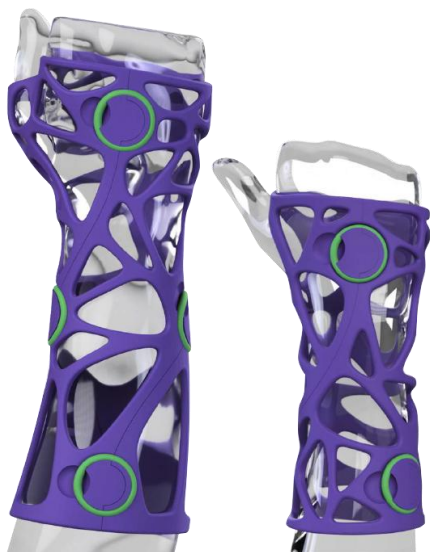


Ilustración 33: Férula impresa en 3D de Xkelet

XKELET es una empresa española formada por un equipo multidisciplinar especializado en los sectores del diseño, desarrollo de software y de la medicina/farmacéutico que en 2016 crearon una férula especializada en inmovilizaciones a medida de miembros superiores. Está formada por tres piezas que se unen entre sí gracias a unas juntas tóricas, O-Ring. Gracias a este diseño la órtesis es fácil de poner y quitar. Para su obtención, usan el aparato Structure Sensor y un iPad para su escaneado mediante luz estructurada y una app propia. El paciente envía a la empresa el escaneado e incluso medidas y fotografías para garantizar un mejor escaneado y la empresa se encarga de hacer un modelo y fabricarlo mediante impresión 3D. El material usado es PA12 biocompatible.

2.4.2.1. Miembro superior e inferior

FIIXIT

Es una empresa malagueña que desde 2016 se dedican al diseño y fabricación de órtesis tanto de miembro inferior como superior. Crean férulas totalmente adaptadas a la persona gracias al escaneado 3D mediante el aparato iSense que funciona gracias al sistema de luz estructurada. Después las fabrican en material PLA gracias a la impresión 3D. El método de cierre entre las dos partes de la férula es gracias a unos anillos de diferentes tamaños según el grado de seguridad que se requiera. En la parte interior van recubiertos de un material que evita las rozaduras con la piel.



Ilustración 34: Férula de miembro superior de Fiixit

Artritis postraumática de muñeca

Fractura de radio distal sin desplazamiento

Fractura del carpo (escafoides)

Fracturas metacarpianas sin desplazamiento

Fracturas en rodete, Tallo verde, Epifisiolisis tipo I-II de radio distal

120-180€



Ilustración 35: Férula de miembro inferior de Fiixit

Esguince de tobillo, grado *II y grado *III
 Férulas estabilizadoras de tobillo
 140-170€



Ilustración 36: Cierre de férula de Fiixit

VOXEL DESIGN

Empresa que se dedica desde 2017 en la creación de órtesis, de miembro superior o inferior, impresas en 3D. Cuentan con 5 tipos de férulas funcionales, de extensión y/o estabilidad y dinámicas, según la lesión o enfermedad de cada paciente. Lo que han conseguido es la optimización de tiempos y seguimiento de los pacientes para los terapeutas, mejor adaptación y estética, y mejora de recuperación de los pacientes. Para su obtención, utilizan un escaneo 3D del miembro correspondiente, mediante fotogrametría o toma de medidas si se trata de un miembro superior y mediante un aparato que utiliza luz estructurada si se trata de un miembro inferior. Crean un modelo 3D que luego se fabricará mediante un material termoplástico en sus impresoras 3D. Para mejorar la adaptabilidad, las órtesis se sujetan mediante correas afelpadas. Las espinilleras cuestan 1650€ y las férulas para niños 650€.

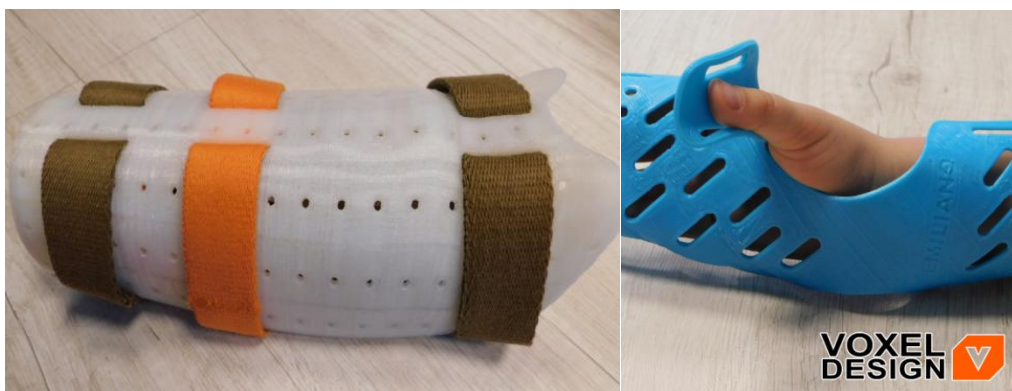


Ilustración 37: Espinilla para ferula tipo sarmiento (izq) y férula posición funcional para niño (dcha).

2.4.3. Otros productos

RELOJES: SYNCHRONOS



Ilustración 38: Relojes Synchronos

Synchronos es una empresa californiana que desde este año 2018 va a empezar a vender relojes de alta gama totalmente personalizados para cada muñeca, hacer modelos exclusivos. Para conseguir este reloj a medida te envían un kit de escaneo a tu casa, y mediante una aplicación en el móvil, qclone, y una plantilla, realizas fotografías a tu muñeca. Después la empresa se encarga de hacer el modelo adaptado a cada persona. Para su fabricación usan impresoras 3D capaces de imprimir materiales metálicos. Ofrecen 4 tipos de relojes según el material: titanio, oro rosado, acero inoxidable y nylon, oscilando el precio desde 2450€ a 410€.

PLANTILLAS: WIIVV



Ilustración 39: Chanclas Wiivv

Es una empresa estadounidense que desde 2017 ofrece chanclas y plantillas totalmente personalizadas a la pisada de cada persona. Para ello, te mandan un kit para tomar medidas del pie y mediante su aplicación instalada en el móvil, tomamos unas fotografías de nuestros pies. Después, ellos se encargan de hacer un modelo 3D y fabrican mediante impresoras 3D. Puedes elegir entre distintos modelos disponibles en la página web, y te lo envían en un plazo de 10 días (siempre que el envío se

realice dentro de Estados Unidos o Canadá), dándote la oportunidad de devolverlo de forma gratuita si el producto no se adapta a tus pies. El material usado es poliamida PA12. Gracias a esta empresa podríamos adquirir plantillas ortopédicas a bajo precio y chanclas adaptadas a tu pisada, deshaciéndonos de las incómodas chanclas planas. Las plantillas las venden a 80€ y las chanclas a 105€.



Ilustración 40: proceso de escaneado y plantillas de Wiivv

2.4.4. Conclusión del estudio de mercado

Tras hacer un estudio de lo que existe en el mercado hay que realizar un análisis de qué tipos de prótesis y órtesis se fabrican y cómo usan las empresas el escaneado 3D y la impresión 3D para obtenerlas.

Las prótesis de miembro superior que son impresas en 3D están muy explotadas y todas ellas tienen como ventajas que son ligeras y muy económicas. Son prótesis fabricadas casi totalmente en una impresora 3D, consiguiendo que la persona pueda agarrar objetos y pueda montar en bicicleta o lavarse los dientes. Todos sabemos que las prótesis biónicas son muy costosas y no todas las personas tienen esa accesibilidad, pudiendo costar unos 9000€, y gracias a esta tecnología, la impresión 3D, puede costarnos el material unos 40€. También, el hecho de que sean tan baratas es que no usan un escaneado 3D para adaptar la prótesis a cada persona y que sea simétrica a la otra, si solamente les faltara uno de los miembros inferiores o superiores. Su forma de adaptar la prótesis al muñón es gracias a cintas de velcro, pudiendo resultar un poco incómodo.

Las prótesis de miembro inferior son menos comunes y ninguna está totalmente impresa en 3D. Esto es debido a que una prótesis de pie o de pierna está sometida a más esfuerzos y la persona necesita poder desplazarse sin dificultad. Las empresas que usan la impresión 3D o el escaneado 3D solamente las necesitan para poder fabricar carcasas simétricas al otro miembro sano de la persona. Creo que es una gran idea, ya que son diseños muy atractivos y del mismo tamaño que la otra pierna por lo que puedes ponerte un pantalón ajustado y verse los gemelos exactamente iguales y pasando desapercibido que llevas una prótesis.

Las órtesis, tanto de miembro inferior y superior, tienen muchas ventajas y puntos en común. La mayoría de las órtesis que son impresas en 3D, se les ha hecho

previamente un escaneado del miembro a inmovilizar a la persona. Esto hace que la adaptación sea perfecta, y que sea sumergible, higiénico, biocompatible, dando ligereza y reduciendo el tiempo de recuperación. Hay que tener en cuenta que cada órtesis es diferente según la lesión o enfermedad, y se necesita hacer un examen médico previo mediante profesionales del sector. Estéticamente son muy atractivas, comparando con las escayolas, pero con un diseño muy similar. Los cierres son fijos, mediante cintas con velcro o con anillas.

Visto este estudio de mercado, puedo comprobar cómo la impresión 3D está en el orden del día y cada vez es más accesible y está más solicitado. El escaneado 3D en muchos casos nos ayuda a obtener una adaptabilidad completa al miembro de la persona, tanto de prótesis y órtesis como otros productos como relojes y chanclas, totalmente personalizable.

Gracias a este estudio de mercado podemos comprobar lo que ya existe para poder rediseñar una férula y mejorar alguna de sus características, cumpliendo nuestros objetivos previamente planteados.

3. IMPRESIÓN 3D

3.1. Definición

La impresión 3D es una tecnología de fabricación por adición de material que se usa para la creación de piezas. Primeramente, se debe tener un modelo digital tridimensional del objeto que queremos obtener. Para fabricarlos, existen unos aparatos, las impresoras 3D, que trabajan con materiales, generalmente plásticos, cuya misión es la superposición sucesiva de capas de material para obtener el modelo.

Su uso ha ido en incremento desde la década del 2000, ya que es una forma rápida y barata de obtención de modelos. Además, es fácil de utilizar, existiendo impresoras 3D de uso doméstico. Esta tecnología también encuentra uso en campos muy diversos tales como joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil entre otros.

3.2. Principios de la impresión 3D

Hoy en día, muchos aficionados se interesan por el método de la impresión 3D. Inspirándome en el libro "Fabricated, the new world of 3d printing" escrito por Hod Lipson y Melba Kurman, describo 10 ideas generales de las ventajas de la impresión 3D frente a otras formas de fabricación más tradicionales.

- 1- **La complejidad del diseño no incrementa el coste.** Dependerá únicamente del volumen de dicho objeto y por tanto de la cantidad de material que se use. En fabricación tradicional cuanto más complejo, más caro.
- 2- **Variar el diseño no incrementa el coste.** Solamente será un coste de tiempo, el que invertimos para modificar el diseño. En fabricación tradicional es un gran coste, ya que se deberán modificar moldes, paralizar la producción...
- 3- **No es necesario ensamblaje.** Se pueden imprimir objetos ya ensamblados, evitando el proceso de montaje posterior.
- 4- **No hace falta stock.** Se fabrican los productos bajo demanda y en el momento que quiere adquirirlos el cliente.
- 5- **Diseño, formas y texturas muy variadas.** No necesitamos instrumentos o máquinas complejas, todas las funciones nos las crea la impresora.
- 6- **No es necesario un título.** Para manejar una impresora 3D necesitamos unos conocimientos previos, pero no hace falta un título. Cualquier persona podría llegar a fabricar productos, incluso desde su domicilio.
- 7- **Impresoras pequeñas y portátiles.** No necesita de un espacio para montar en un taller de fabricación lo que permite una total movilidad de éste.
- 8- **Genera menos residuos.** Se fabrican los productos solamente con el material necesario, produciendo material de desecho cuando se necesitan apoyos o puentes.
- 9- **Gran cantidad de materiales.** Posibilidad de imprimir en varios materiales y en distintas proporciones.
- 10- **Crear réplicas exactas.** Combinando la impresión 3D con el escaneado 3D podemos replicar objetos existentes a la perfección.

3.3. Historia

La gran predecesora de las impresoras 3D son las impresoras 2D, las impresoras de inyección de tinta que fueron creadas en 1976. En 1984, con los avances de las tecnologías, se transforma el concepto de inyección de tinta a inyección de materiales.

A continuación, se van a describir algunos hechos históricos destacables desde que se inventó el primer método de impresión 3D hasta nuestros días.

1984 Chuck Hull, cofundador de 3D Systems Corporation, desarrolló un sistema de prototipo basado en el proceso conocido como estereolitografía (SLA), en el que se añaden capas mediante el curado de fotopolímeros con láseres de rayos ultravioleta. Fue la primera tecnología de fabricación rápida comercial para la creación de prototipos y con un formato de archivo de STL.

1986 se fundó la empresa de 3D Systems Corporation y Chuck Hill adquiere la patente de su invento y empieza a comercializarlo.

1987 Carl Deckard desarrolla el método de sinterizado selectivo por láser (SLS).

1988-1989 Scott Crump desarrolla el método de modelado por deposición fundida (FDM).

1990-1992 Scott Crump crea la empresa Stratasys donde empiezan a comercializar impresoras que utilizan el método FDM.

1993 El MIT desarrolla la impresión 3D por inyección (3DP).

1995-1996 ZCorporation obtiene la licencia de la 3DP y empieza a comercializar con las primeras impresoras basadas en la tecnología 3DP.

1999 El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forest implanta en humanos los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impresos en 3D y cubiertos con células del paciente. El ITOP trata tanto materiales plásticos como biodegradables para crear la "forma" del tejido y los geles con base de agua que sostienen a las células.

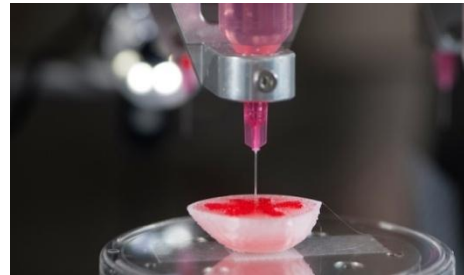


Ilustración 41: tejido celular

2000 MCP Technologies introduce la tecnología de fusión selectiva por láser (SLM).

2002 El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forest imprime el primer órgano impreso en 3D totalmente funcional.

2005 El Dr. Adrian Bowyer de la Universidad de Bath funda RepRap, desarrolla una impresora 3D que pueda imprimir la mayoría de sus componentes. La visión de este proyecto es democratizar la fabricación mediante la distribución barata de unidades RepRap a personas de todo el mundo, permitiéndoles crear productos cotidianos por su cuenta.

2006 Se construye la primera máquina del tipo SLS. Este tipo de máquina utiliza un láser para fusionar materiales en productos 3D. Este avance abre la puerta a la personalización masiva, y bajo demanda, de fabricación de piezas industriales y, posteriormente, prótesis. Ese mismo año Objet, un proveedor de sistemas de impresión 3D y materiales, crea una máquina capaz de imprimir en múltiples materiales, incluyendo elastómeros y polímeros. La máquina permite que una sola pieza sea fabricada por varios materiales.

2008 El proyecto RepRap lanza Darwin al mercado, la primera impresora auto-replicante que puede imprimir la mayoría de sus componentes. Se desarrolla la primera prótesis de miembro inferior impresa en 3D. Shapeways lanza una página web beta privada para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad permitiendo que artistas, arquitectos y diseñadores presenten sus diseños en 3D como objetos físicos baratos.



Ilustración 42: Impresora 3D Darwin

2009 Industrias MakerBot, una compañía de hardware de código abierto para las impresoras 3D, comienza la venta de kits de montaje que permiten a los compradores fabricar sus propias impresoras 3D y productos. Empieza la bio-impresión, con la tecnología del Dr. Gabor Forgacs, que utiliza una bio-impresora 3D para imprimir el primer vaso sanguíneo.

2011 Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñaron y planearon el primer avión impreso en 3D. Este avión no tripulado se construye en siete días, con un presupuesto de 7.000€.



Ilustración 43: Avión no tripulado impreso en 3D

Kor Ecologic nos presenta Urbee, un prototipo de coche que trata de ser lo más eficiente posible con el medio ambiente, siendo toda su carrocería diseñada e impresa en 3D. Su precio oscilará entre los 12.000€ y 60.000€.



Ilustración 44: Coche Urbee

La empresa Materialise ha sido la primera empresa en ofrecer un servicio de impresión 3D de oro de 14 Kilates y plata de ley. Entre otras aplicaciones, se empiezan a adaptar las impresoras 3D para la creación de objetos de chocolate, de carne y de piezas de ropa.



Ilustración 45: Joya impresa en 3D por Materialise

2012 La empresa LayerWise imprime la primera prótesis de mandíbulas personalizada e implantada en una mujer de 83 años de edad que sufría una infección de hueso crónica. Esta tecnología se está estudiando más profundamente con el objetivo de poder promover el crecimiento de nuevo tejido óseo.



Ilustración 46: Prótesis de mandíbula impresa en 3D

2013 Defense Distributed lanza la primera arma de fuego impresa en 3D. Robohand crea la primera prótesis de mano.

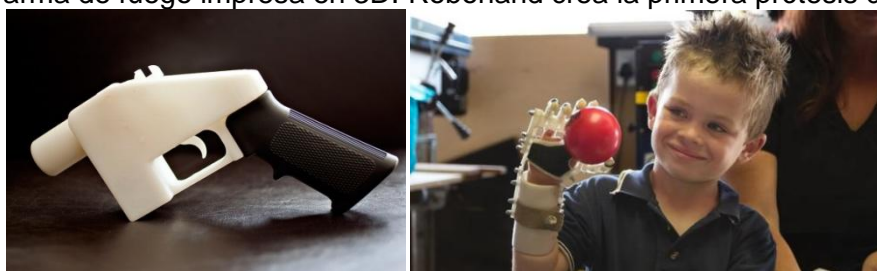


Ilustración 47: Arma impresa en 3D (izq) y prótesis de brazo impreso en 3D (dcha).

2014 – hoy La impresión 3D ha crecido de forma exponencial, y en estos últimos años podemos hablar de multitud de productos importantes, como la creación de pelvis a medida y de tejidos humanos bioimpresos, creados con estas máquinas y en campos muy diversos como en la medicina, ingeniería, arquitectura y patrimonio. Su precio se ha reducido notablemente y hoy en día podemos tener acceso a ellas, incluso en nuestro domicilio.

3.4. Tipos de tecnologías

A continuación, se van a definir las tecnologías de impresión 3D más relevantes para la industria, los materiales con los que fabrican los modelos y, sus aplicaciones y aparatos comerciales. Podemos encontrar cinco tipos de tecnologías, reflejadas en la siguiente tabla:

| TIPO | TÉRMINO | TECNOLOGÍA |
|----------------------------|---------|------------------------------|
| 1 Fotopolimerización | SLA | Stereolithography |
| | DLP | Digital Light Processing |
| 2 Fusión | EBM | Electron Beam Melting |
| | SLS | Selective Laser Sintering |
| | SHS | Selective Heat Sintering |
| | SLM | Selective Laser Melting |
| | DMLS | Direct Metal Laser Sintering |
| 3 Inyección de aglutinante | PBIH | Powder Bed and Inker Head |
| | PP | Plaster based 3D Printing |
| 4 Inyección de material | MJM | MultiJet Modeling |
| 5 Extrusión | FDM | Fused Deposition Modeling |

Tabla 1: tipos de tecnologías

3.4.1. Fotopolimerización

La fotopolimerización es el sistema de impresión 3D más antiguo que existe. Consiste en el endurecimiento selectivo de un fotopolímero líquido en una cubeta mediante diversos métodos.

Los 3 tipos de fotopolimerización más comunes son: SLA o estereolitografía, DLP o fotopolimerización por luz ultravioleta y fotopolimerización por absorción de fotones.

El material usado para la fabricación de los modelos es un fotopolímero, una sustancia sintética que sufre cambios en sus propiedades por la acción de la luz ultravioleta formando una diferenciación física entre las partes expuestas y las no expuestas.

Este tipo de tecnología es usada para la fabricación de prototipos con acabados que se asemejen al producto final y para prototipos con acabados estéticos con alto detalle. El sector más reconocido es la joyería, odontología y prototipos industriales.



Ilustración 48: Impresora de tecnología tipo SLA: 3DSYSTEMS, como el Projet 6000 o Projet 7000

3.4.2. Fusión

La fusión de lecho de polvo consiste en una capa de polvo (del material con el que se desea fabricar el objeto) al cual se le aplica una fuente de energía térmica que funde capa a capa hasta formar el objeto deseado.

Existen 5 tipos de tecnología de fusión de lecho de polvo: EBM o fusión por haz de electrones, SLS o sinterización selectiva por láser, SHS o sinterización selectiva por calor, SLM o fusión selectiva por láser y DMLS o sinterización de metal directa por láser.

Los materiales que se utilizan son de alta resistencia, capaces de fabricar modelos en materiales poliméricos, como el nylon o el poliestireno, y también metales como el acero, níquel, titanio y otras aleaciones industriales. Se usa para fabricar piezas de alto rendimiento en el ámbito industrial profesional con altos requerimientos técnicos como es el área aeroespacial y automovilística.

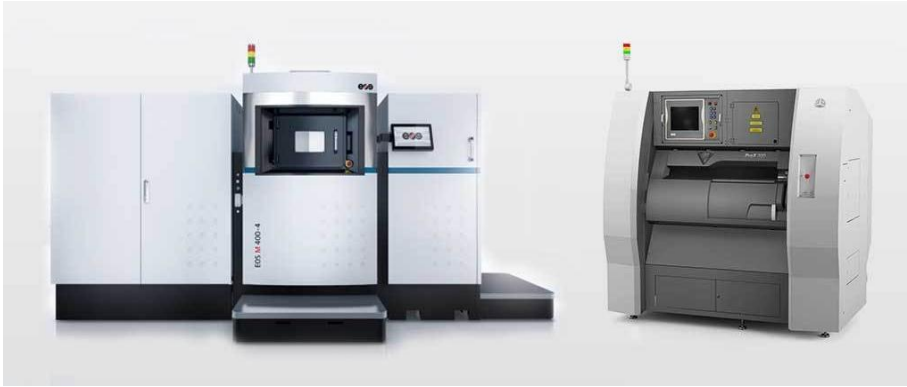


Ilustración 49: Impresora de tecnología tipo SLS: M-400, de la marca Eos, o el ProX 300, de 3D Systems.

3.4.3. Inyección de aglutinante

Esta tecnología consiste en la pulverización de aglutinantes líquidos o resinosos sobre un lecho de polvo, que luego se solidifican en sección transversal. Cada capa se imprime de una manera similar a como lo hacen las impresoras de papel tradicionales de chorro de tinta, con la diferencia de que, en este caso, la capa de tinta o aglutinante son aplicados sobre un lecho de polvo, capa a capa.

Existen dos tipos: PBIH o cama de polvo y tinta y PP o impresión 3d basada en yeso.

Los materiales más comunes utilizados por estas tecnologías son: cerámicos (composites), resinas, cristal, metal (aluminio, acero inoxidable y plata), termoplásticos y ceras.

Entre sus principales aplicaciones podemos encontrar el prototipado rápido, utillaje y modelos para aplicaciones científicas y de diseño.

La tecnología de fabricación Color Jet Printing (CJP), de 3D Systems, permite imprimir en varios colores sobre materiales compuestos, lo que consigue prototipos y muestras de validación con un alto realismo estético.



Ilustración 50: Impresora CJP

3.4.4. Inyección de material

Esta tecnología consiste en la utilización de un cabezal de impresión que se mueve inyectando un fotopolímero formando diferentes capas, capaces de imprimir en múltiples materiales.

El tipo de tecnología más usada es la MJM. La marca 3DSystems es propietaria de esta tecnología MJM.

El material usado es un fotopolímero, y el material de soporte es un gel o cera solubles en agua.

Entre las principales aplicaciones podemos encontrar la fabricación de maquetas de alta precisión y prototipos rápidos de ajuste y forma. Destacando las aplicaciones en el ámbito de la industria médica, dental y joyería.



Ilustración 51: Impresora ProJet 3510 SD 3d systems

3.4.5. Extrusión

Esta tecnología utiliza un material en forma de filamento introducido en un cabezal extrusor que se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes, lo que permite mediante su deposición en una superficie de impresión y la posterior superposición de capas, crear objetos.

Los materiales que usa son termoplásticos, metales eutécticos o materiales comestibles.

Sus aplicaciones son muy amplias ya que se adquieren prototipos rápidos con alta precisión y admite gran cantidad de materiales.



Ilustración 52: Impresora ultimaker 3 extended

3.5. FDM. Fused deposition modeling

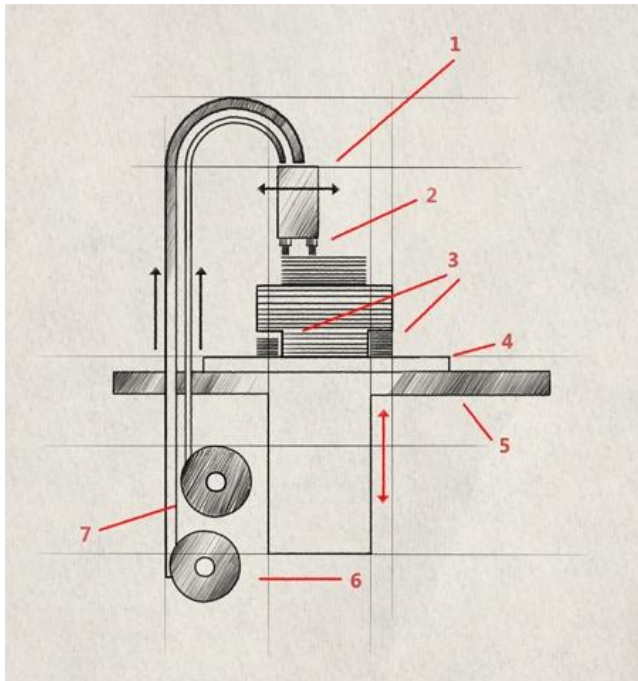
3.5.1. Definición

El Modelado por Deposición Fundida es la técnica mediante la cual un filamento se desenrolla de una bobina o carrete y abastece material hacia un extrusor. Este cabezal funde el material, hasta alcanzar un estado semilíquido, para extruirlo, y lo deposita sobre las capas inferiores más frías, desplazándose por la cama de impresión de acuerdo con la geometría requerida. De esta forma, capa a capa, se genera el modelo de la pieza a fabricar.

El plástico se endurece nada más salir del cabezal de extrusión y se adhiere a la capa de abajo. Para sustentar las zonas en voladizo o de geometría compleja de la pieza, se extruye un segundo material de soporte que se elimina fácilmente.

Algunas de sus ventajas son:

- La tecnología es limpia, fácil de usar y adecuada para las oficinas.
- Los termoplásticos de producción compatibles son estables mecánica y medioambientalmente.
- Las geometrías y las cavidades complejas que podrían ser problemáticas al usar otros sistemas se convierten en tarea fácil gracias a esta tecnología.



1. extrusor
2. material extruido
3. soportes
4. cama de impresión
5. plataforma
6. carrete de material
7. soporte del carrete

Ilustración 53: esquema impresora por FDM

3.5.2. Funcionamiento

En un proceso de impresión en 3D por FDM participan diferentes fases que deben de interactuar y trabajar fluidamente entre ellas. Además, se deben de tener unos conocimientos previos ya que es un proceso complejo.

Fase 1: Modelo digital: Se debe tener un modelo digital tridimensional del objeto que queremos fabricar. Para ello tenemos dos opciones: una de ellas es descargarse el modelo a través de plataformas digitales o bien diseñar nuestro propio modelo a través de un software. Si el modelo es creado por nosotros debemos de comprobar que no hay defectos y hacer una corrección de la malla si fuese necesario a través de un software.

Fase 2: Exportación: el modelo debe tener toda la información geométrica necesaria y en el formato correcto (por ejemplo .STL).

Fase 3: Preparación: Convertimos el modelo digital tridimensional en una lista de comandos que la impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados g-code. Después, mandamos la lista de instrucciones a la impresora para que empiece su impresión.

Fase 4: Impresión: La impresora 3D calienta el material termoplástico hasta que alcanza un estado semilíquido y lo deposita en capas ultrafinas a lo largo de la

trayectoria de extrusión. En los casos en los que se precisa un soporte o apoyo, la impresora 3D deposita un material soluble en agua. Los resultados variarán según el modelo de la impresora 3D, su calibración y configuración, el tipo y calidad de material y el tipo de superficie que cubre la plataforma de impresión.

Fase 5: Acabado: se eliminan las partes sobrantes, como son los puentes o apoyos. Podemos mejorar la superficie del modelo mediante un acabado mecánico, térmico o químico.

3.5.3. Materiales

Este tipo de dispositivos pueden trabajar con materiales plásticos y metálicos. En este caso nos vamos a centrar en los termoplásticos más comunes para este tipo de impresión 3D.

PLA

El ácido poliláctico es un plástico que se crea a partir de recursos naturales, por lo que es renovable y biodegradable. Es el material más utilizado para la impresión 3D, ideal para prototipado, ya que es fácil de usar, y por lo tanto apropiado para nuevos usuarios, seguro y su coste es muy bajo.

Tiene buena resistencia a la tracción, buena calidad superficial y permite trabajar a altas velocidades de impresión, adquiriendo una buena calidad superficial. Como inconvenientes nos encontramos que no puede ser expuesto a más de 50°C y no es apto el contacto con alimentos e in vivo.

ABS

El acrilonitrilo butadieno estireno es un plástico con excelentes propiedades mecánicas y adhesión entre capas, buena estética y deformación mínima.

Sus aplicaciones son el prototipado y la fabricación en series cortas. Como inconvenientes nos encontramos que no puede ser expuesto a más de 85°C y no es apto el contacto con alimentos e in vivo.

PVA

El alcohol polivinílico es un material de apoyo hidrosoluble para la impresión 3D multi-extrusión. Se adhiere perfectamente al PLA y al NYLON por lo que es perfecto para imprimir modelos complejos que requieran de soportes o cavidades internas.

Tiene buena estabilidad térmica, es biodegradable y soluble en agua corriente, sin necesidad de productos químicos.

PC

El policarbonato nos permite imprimir piezas resistentes que conservan la estabilidad dimensional al someterla a temperaturas altas de hasta 110°C. Entre sus aplicaciones podemos encontrar herramientas, moldes, iluminación y prototipado.

Como inconvenientes nos encontramos que no puede ser expuesto a más de 110°C y no es apto el contacto con alimentos e in vivo.

NYLON

La poliamida es conocido por su alta durabilidad, alta relación entre resistencia y peso, flexibilidad, baja fricción y resistencia a la corrosión. Sus aplicaciones son prototipado, herramientas y modelado industrial.

Como inconvenientes nos encontramos que no puede ser expuesto a más de 80°C y no es apto el contacto con alimentos e in vivo.

3.5.4. Aplicaciones

El Modelado por Deposición Fundida es la aplicación ideal para la producción de productos que requieran una alta precisión, un volumen reducido de piezas complejas y prototipos de análisis funcional y pruebas de forma y adecuación y con tiempos de entrega reducidos.

Las posibilidades son infinitas para el desarrollo y fabricación de productos, por ello, se ha hecho una división en cuatro categorías principales de aplicación:

a. Modelos conceptuales

En el proceso de diseño, podemos usar esta tecnología para hacer modelos y poder revisar la forma y ergonomía de nuestro producto diseñado. Este proceso se puede repetir las veces que se requiera.



Ilustración 54: Maqueta de un edificio

b. Prototipos funcionales

Podemos adquirir un prototipo funcional y preciso de nuestro diseño. Gracias a esto, podemos detectar fallos y hacer pruebas de rendimiento y evaluaciones.



Ilustración 55: Bisagras flexibles

c. Herramientas para la fabricación

Se pueden crear sujeciones, patrones de herramientas e incluso herramientas de producción en pequeños volúmenes, ahorrando tiempo y dinero.



Ilustración 56: Molde impreso en 3d

d. Producto terminado

Se crean nuevas oportunidades de aplicación personalizadas y en cantidades bajas.



Ilustración 57: Fundas para iphone

3

DESARROLLO

DEL PROYECTO

Hoy en día, cuando sufrimos alguna fractura en un miembro superior y necesitamos conseguir una inmovilización, se colocan órtesis de yeso, comúnmente conocido como escayola. Es un dispositivo muy eficiente para la recuperación de la lesión, pero tiene algunas desventajas:

- Son muy pesados, de aproximadamente 1 kg para cubrir miembros superiores, y por lo tanto incómodos.

- Las mangas de algunas prendas de ropa pueden no entrar por el brazo escayolado, ya que son muy gruesas.

- No son sumergibles, por lo que no puedes nadar, ducharte o fregar los platos, aunque para asearte el resto del cuerpo se puede colocar una bolsa alrededor de la escayola. Esto hace que sea bastante antihigiénico.

- Pueden resultar muy molestas, impedirte hacer ciertas actividades y estáticamente pobres.

- Se deben de reemplazar cada cierto tiempo, principalmente por higiene.

En este proyecto se pretende diseñar una férula impresa en 3D y el proceso llevado a cabo para la obtención de la misma, utilizando unos recursos mínimos para que cualquier persona sea capaz de llevar a cabo este proceso, siempre con unos conocimientos mínimos. Se usarán dos tecnologías que están evolucionando velozmente: el escaneado 3D y la impresión 3D. Gracias al escaneado se podrá obtener un diseño del brazo a inmovilizar para posteriormente hacer un diseño de una férula totalmente adaptada y personalizada con el apoyo de herramientas CAD. Gracias a la impresión 3D, su fabricación será más rápida y sencilla, utilizando un material degradable, sumergible, y apto con el contacto de la piel y los alimentos. Se conseguirá diseñar un producto novedoso muy estético que a su vez nos aportará ligereza y por lo tanto de bajo coste.

El desarrollo de la órtesis que se ha llevado a cabo está dividido en 3 fases: escaneado 3D del brazo lesionado, diseño personalizado CAD e impresión 3D del prototipo. En este proyecto se ha desarrollado el diseño para adaptarlo a mi propio brazo derecho y poder imprimir un primer prototipo funcional.

Antes de empezar con el desarrollo se han marcado unos objetivos previos que se van a ir detallando en cada una de las fases.

1. ESCANEADO 3D

Primeramente, para desarrollar la órtesis se va a proceder al escaneado 3D. Gracias a esta tecnología podremos obtener un modelo virtual del miembro del cuerpo humano que la persona tenga lesionada. Así, podremos obtener un modelo 3D del brazo como

referencia para su posterior adaptación de la órtesis, y así conseguir que cada órtesis esté totalmente adaptada y personalizada a cada persona.

1.1. Objetivos

Antes de empezar con el escaneado 3D se han marcado unos objetivos previos a cumplir:

- Escaneado 3D de mi propio brazo derecho. Por consiguiente, un modelo 3D del mismo.
- Aparato de escaneado de bajo coste, que sea apropiado para el cuerpo humano.
- Software de procesamiento del escaneado de bajo coste.
- Accesible y fácil de usar para cualquier usuario con conocimientos previos.
- Calidad medio-alta del miembro a escanear.

1.2. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que consiste en la creación de modelos en 3D a partir de fotografías 2D realizadas mediante una cámara fotográfica, para obtener características geométricas del objeto, sus dimensiones y posición en el espacio.

Se ha elegido esta tecnología por diversas razones como es su accesibilidad y su bajo coste, y al ser la primera toma de contacto con este tipo de tecnología se ha querido investigar primeramente con esta y comprobar su capacidad para conseguir un modelo 3D mediante la superposición de fotografías.

1.2.1. Condiciones de toma de fotografías

Condiciones previas que se han considerado antes de realizar las fotografías:

a. Condiciones de iluminación

1_ Evitar un entorno con fuertes sombras de contraste sobre el objeto.

_En interior utilizaremos luz difusa (recomendable 3 focos)

_En exterior evitar disparar al mediodía. Las mejores horas serán por la mañana temprano o por la tarde a las últimas horas de sol.

2_ Usar una escena que haga contraste con nuestro objeto.

b. Toma de fotografías

1_ El objeto debe estar en medio de la imagen y ocupar la mayor parte de la escena.

2_ No mover los objetos mientras se hace la toma de fotografías. O en su caso, no mover la cámara (usar trípode o similar), y mover el objeto gracias a una placa giratoria o similar.

3_ Los disparos deben de hacerse alrededor del objeto. Deben de superponerse las fotografías, por lo que el disparo ha de hacerse entre 2 o 3 series a distintas alturas y formando un círculo alrededor del objeto. Cada disparo se hará entre 5-15° para terminar haciendo entre 70-100 fotografías del objeto. (Intentar sacar entre 30 y 40 fotos por vuelta).

4_ No usar flash, pero si se utiliza no sobreexponer la imagen y lo más difuso posible.

5_ Cuantas más fotografías sacamos, mejor calidad del modelo, pero mayor tiempo de procesamiento.

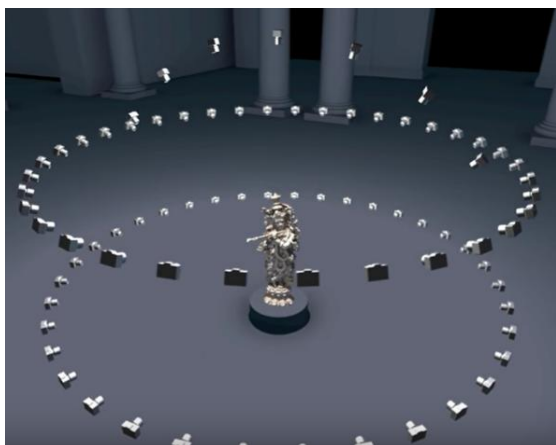


Ilustración 58: Posición de la cámara para la realización de fotografías.

c. Calidad de la imagen

1_ Evitar fotografías borrosas con partes desenfocadas de nuestro objeto. Si las hubiera, eliminar antes de procesar las imágenes.

2_ No cambiar el zoom de la cámara.

3_ No cambiar la exposición de la cámara.

4_ Recomendación de ajuste ISO a 100.

5_ Imágenes en formato .jpg.

d. Condiciones del objeto a escanear

1_ Evitar objeto brillantes y transparentes. Pintar con color mate y moteado si fuese necesario.

2_ Cuanta más textura mejor.

3_ Para la toma de fotografías a personas, ésta deberá estar lo más inmóvil posible.

1.2.2. Cámara fotográfica utilizada

Para realizar el escaneado, se ha utilizado una cámara profesional para sacar las fotografías, una olympus E-510 con un objetivo de 14-42mm. Entre sus características, destacar que tiene un estabilizador de imagen integrado para conseguir imágenes nítidas incluso cuando la cámara se mueve y un motor que garantiza que no haya ruidos y que los resultados sean mejores. Un sensor de imagen tipo 4/3" Sensor Live MOS y una resolución máxima de 10,9 megapíxeles.



Ilustración 59: cámara olympus E-510 con un objetivo de 14-42mm.

1.2.3. Proceso de obtención de fotografías

A continuación, se va a describir el proceso seguido para la obtención de las fotografías de mi brazo derecho.

a. Iluminación

Las fotografías se realizaron en una sala de oficina blanca donde había pocos objetos que hicieran contraste tanto con el fondo de la escena como del objeto. Eran las 11 de la mañana, por lo que la iluminación exterior que entraba por la ventana de la sala era la más idónea, a su vez, se encendió la luz cenital y el flash de la cámara, todo ello de forma difusa para no crear sombras duras.

b. Toma de fotografías

Yo misma, me coloqué sentada en una silla apoyando el codo sobre la mesa. El brazo se colocó lo más perpendicular a la mesa, con todos los dedos juntos menos el pulgar, ya que el puente entre el dedo pulgar y el índice es una zona muy importante para diseñar la férula. Esta posición me permitió estar lo más inmóvil posible y a su vez poder coger imágenes de mi brazo desde todos los ángulos.

Otra persona, con conocimientos medio-altos en fotografía, tuvo que tomarme las fotografías. Se tomaron fotografías alrededor de mi brazo de forma manual y a diferentes alturas, dando más importancia a la zona de la palma de la mano y los dedos, ya que tienen detalles más importantes.

Obtuvimos 84 fotografías, filtrando anteriormente aquellas fotografías que quedaron desenfocadas o con sombras fuertes.

c. Calidad de la imagen

Características de las imágenes obtenidas:

- _Dimensión de la imagen: 2736x3648 píxeles
- _Resolución de la imagen: 314ppp
- _Punto F: f/5
- _Tiempo de exposición: 1/50s
- _Velocidad ISO: ISO-100
- _Compensación de exposición: 0 paso
- _Distancia focal: 26mm

d. Condiciones del brazo

Para crear contraste del brazo con la escena se recubrió el brazo de eneldo, una especia. Este hecho nos obtuvo los mejores resultados, ya que el brazo adquirió una textura que carecía por sí sola porque la piel era bastante clara y lisa y si no se perdía información.



Ilustración 60: Fotografías de mi brazo derecho. Elaboración propia.

1.3. SOFTWARE

Al usar la fotogrametría para obtener un modelo 3D, necesitamos de un software que nos procese las fotografías realizadas. Se ha elegido un software con muy buenas referencias, de bajo coste y con una calidad alta.

1.3.1. Creación de nube de puntos

AUTODESK RECAP PHOTO

Una vez se ha realizado la serie de fotografías, se ha utilizado un software para el procesado de estas imágenes. En este caso se utilizará Autodesk Recap Photo, mencionado anteriormente en antecedentes. Este programa nos permite realizar un modelo 3D del brazo escaneado, utilizando como máximo 100 fotografías. Gracias a la

licencia de estudiante, se puede adquirir este programa gratuito durante 3 años. Tiene muy buenas referencias ya que es capaz de realizar un modelo 3D en cuestión de minutos y hacer una limpieza inteligente, y si no quedas satisfecho con el resultado te permite modificar la malla. Su precisión es muy alta, aunque dependerá totalmente de las fotografías tomadas.

Para este proyecto, se procesaron 84 fotografías, como se ha mencionado anteriormente en el proceso de obtención de fotografías. Las fotografías se suben a la nube del programa y se encarga de procesarlas. Pasadas unas 3 horas se obtuvo el siguiente resultado:



Ilustración 61: Modelo 3D del brazo. Elaboración propia.

RESULTADO:

Se puede ver que las proporciones parecen adecuadas y que se han obtenido muchos detalles como es la textura de los tendones y los dedos, y el eneldo.

Algunos errores que se pueden apreciar a simple vista son:

-La textura del eneldo se ha escaneado a la perfección, pero para este proyecto es innecesario.

-El dedo pulgar tiene un defecto en la punta.

-Se ha creado un modelo virtual de zonas innecesarias para este proyecto como la camiseta y el codo.

- La escala no es la misma que la real, aunque si proporcional.

1.3.2. POST PROCESADO

Gracias a las herramientas que nos facilita Autodesk Recap Photo, se ha modificado el modelo del brazo, corrigiendo todos los errores mencionados anteriormente.

Primeramente, se ha escalado a un 110% del brazo real, para corregir el defecto de escala. Se ha recortado las partes sobrantes, como la elongación del dedo pulgar y el codo, y se ha suavizado los relieves ocasionados por el eneldo.

Comprobamos que el número de caras es de hasta 600.000 caras, ya que se han eliminado las partes sobrantes, pero vemos que por escalar y suavizar la textura este número de caras no varía.



Ilustración 62: Modelo 3D del brazo postprocesado con textura. Elaboración propia.

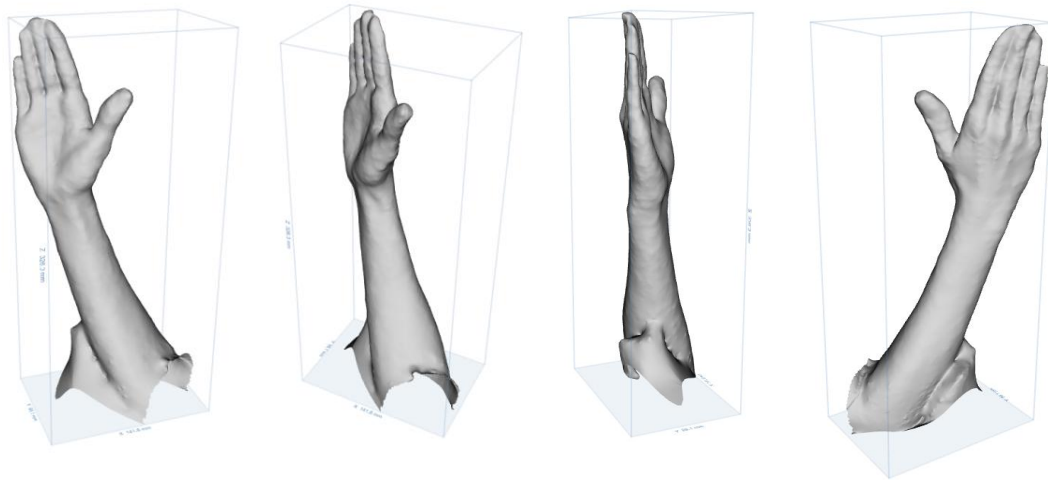


Ilustración 63: Modelo 3D del brazo postprocesado sin textura. Elaboración propia.

1.4. RESULTADO FINAL

Gracias a Autodesk Recap Photo se ha podido conseguir un modelo 3D del brazo. Para el siguiente paso, se seguirán una serie de modificaciones en la nube de puntos, para proceder al diseño de la férula.

Primeramente, la exportación del modelo 3D a otros programas de Autodesk o Catia V5, siempre en formato .STL o .OBJ, nos empieza a crear problemas. Tiene un elevado número de caras y el programa no responde, por lo que se deberá reducir, hasta unas 100.000 caras, en este caso. Se puede llegar a perder detalles si reducimos excesivamente el número de caras pero en este caso 100.000 caras funcionan para nuestro modelo del brazo.

Seguidamente se ha exportado el modelo remallado al programa Catia V5. Se ha convertido el modelo 3D de formato .OBJ a .CATPART para poder modificar el modelo y eliminar las zonas que no son necesarios y obtener un modelo virtual del brazo más limpio. Después, el modelo del brazo nos servirá de referencia para diseñar la férula, tomando referencias y medidas.

Podemos visualizar un modelo virtual de brazo, donde se puede apreciar la nube de puntos creados gracias a la fotogrametría y el software.

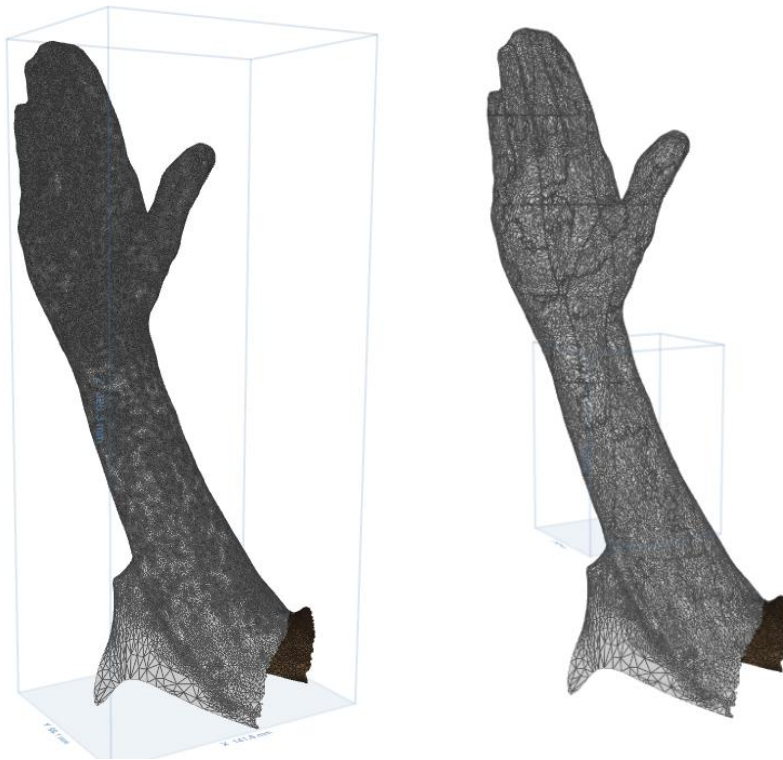


Ilustración 64: Antes y después de reducir el número de caras. Elaboración propia

MODELO 3D DEL BRAZO

Se ha recortado tanto la parte superior como la inferior para coger la altura necesaria que debe tener la férula (altura necesaria explicada en el siguiente apartado). También se ha creado el agujero para el dedo pulgar.

Gracias a este modelo se obtiene una superficie de referencia para la creación de nuestra férula.

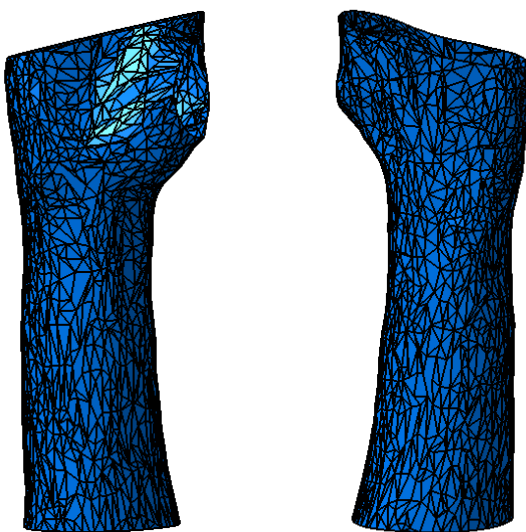


Ilustración 65: Modelo 3D del brazo en Catia V5. Elaboración propia.

1.4.1. Primeros escaneados descartados

Antes de conseguir el modelo 3D del brazo mediante escaneado 3D, se hicieron varias pruebas hasta conseguir un modelo que cumpliera los objetivos propuestos. En todas estas pruebas se utilizó siempre la misma cámara fotográfica y software que se ha utilizado para conseguir el modelo 3d final del brazo, por lo que los únicos cambios que se realizaron fueron en la iluminación, la toma de fotografías, la calidad de la imagen y las condiciones del brazo.

Una de las pruebas realizadas fue pintándome un patrón a base de rayas horizontales y verticales. Las fotografías se descartaron ya que se sobreexpusieron y se crearon sombras con demasiado contraste que emborronaron los detalles del brazo.



Ilustración 66: Fotografías descartadas. Prueba con rayas pintadas. Elaboración propia



Ilustración 67: Modelo 3D descartado del brazo postprocesado con textura. Elaboración propia.

Otra de las pruebas se realizó pegándome pegatinas circulares blancas y negras. En este caso había poca luz, por lo que la calidad de la imagen bajó y se perdieron detalles.



Ilustración 68: Fotografías descartadas. Prueba con pegatinas. Elaboración propia

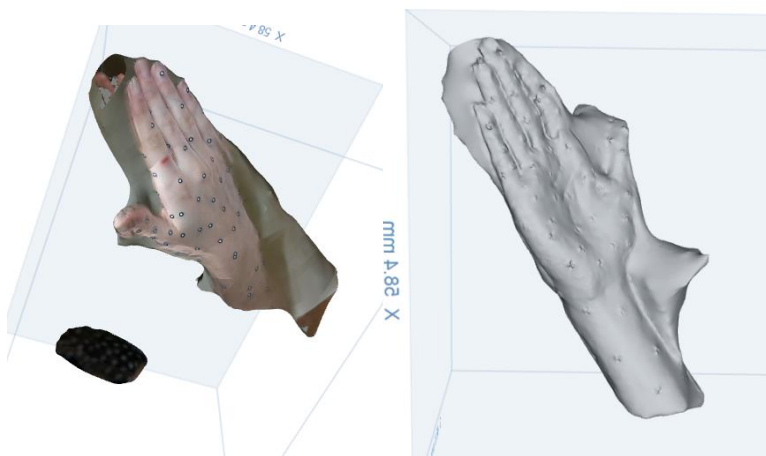


Ilustración 69: Modelo 3D descartado del brazo postprocesado con textura. Elaboración propia.

1.5. Conclusión

Se ha conseguido obtener un modelo virtual de mi brazo derecho cumpliendo todos los objetivos. Para conseguir un buen escaneado mediante fotogrametría se necesitarán tener conocimientos previos tanto de esta tecnología como de fotografía ya que la toma de fotografías es la clave para poder obtener un modelo 3D.

El eneldo nos ha ayudado a definir muy bien los detalles del brazo, sobre todo de los dedos, pero se pueden comprobar algunos errores:

- _En general, el brazo ha adquirido los pequeños relieves del eneldo, que ha ensuciado el modelo.
- _El dedo pulgar tiene un saliente, seguramente debido a alguna sombra fuerte que se habrá creado en las fotografías.
- _Nos ha sacado el modelo también del codo, que en este caso no lo necesitamos.
- _Está desescalada, un error que pasa siempre en mayor o menor medida con este software.

A pesar de todos estos errores, tiene muchas ventajas:

- La calidad de la textura del brazo es muy alta.
- El tiempo de procesado es asequible.
- Se ha adquirido 640.000 caras, por lo que tiene una calidad excelente, con multitud de detalles.
- Los errores son rápidos de solventar, gracias a las herramientas de edición que nos proporciona el programa.

Autodesk Recap Photo es un programa muy completo, rápido, intuitivo y con unos resultados más que notables.

El mayor problema es la incompatibilidad entre programas de diseño por los formatos de archivo. Aun teniendo estos inconvenientes, se ha llegado a una solución para poder modificar el brazo obtenido para poder modificarlo en Catia V5 y proceder al diseño de la órtesis.

2. DISEÑO PERSONALIZADO

Una vez se ha conseguido importar el modelo 3D del brazo a Catia V5, se puede proceder a diseñar la férula adaptándola al brazo. En la segunda fase se va a proceder a diseñar una órtesis. Se tendrá en cuenta que queremos obtener un diseño que posteriormente sea sencilla su modificación para brazos para poder adaptarlo en distintas personas, es decir, de distintos tamaños y condiciones.

2.1. Objetivos

La órtesis deberá de cumplir una serie de objetivos:

- Inmovilizar y proteger la muñeca del paciente para que pueda tener una buena rehabilitación de la zona afectada.
- Permitir realizar deporte y/o vida cotidiana.
- Adaptar la férula a cada paciente, y por lo tanto que su posterior modificación sea lo más sencilla posible.
- Material de la férula debe ser sumergible en agua, para poder nadar y/o ducharse sin problema.
- Diseño atractivo y personalizable.
- Facilitar las revisiones del médico mediante el diseño de agujeros para dar visibilidad a la zona lesionada y así no tener que abrir la férula para examinar el brazo.

- Que permita transpirar a la piel y que sea fácil de limpiar.
- Uniones invisibles para un diseño más limpio y adaptativo.
- Ligereza y comodidad.
- Impresa totalmente, o casi en su totalidad, en 3D.
- Bajo coste.

2.2. Condiciones de la férula

A continuación, se van a detallar las condiciones que debe de tener una férula para su dimensionado y adaptación al brazo lesionado.

2.2.1. Consideraciones antes del diseño

Antes de empezar a diseñar la férula, se han tenido una serie de consideraciones.

Primeramente, debemos de saber las necesidades del paciente, el tipo de lesión que presenta y la gravedad de la misma. Es por ello que se necesita la colaboración de un médico que se encargue de diagnosticar al paciente y en función de ello personalizar la férula a sus necesidades. Algunas de las consideraciones que se deben de tener en cuenta son:

- La edad del paciente.
- Actividad, si es una persona deportista.
- Tiempo de uso de la férula.
- Medidas corporales.
- Tipo de lesión que presenta.
- Enfermedades y/o alergias.
- Seguimiento del paciente, revisiones.
- Rehabilitación.

2.2.2. Descripción de la férula

Para este proyecto se va a diseñar una férula estática, sin partes móviles, para miembro superior. En concreto, para la inmovilización de la muñeca de mi brazo derecho. La férula protegerá la zona desde el tercio proximal del antebrazo hasta el pliegue palmar distal de la mano. Su función principal será la de inmovilización de la articulación de la muñeca, solamente permitiendo la movilidad en los dedos para así poder agarrar objetos y poder seguir con una vida cotidiana.

2.2.3. Referentes anatómicos

Para el diseño de la férula se tienen que tener en cuenta 4 puntos importantes del brazo. La férula irá desde el borde distal del tercio medio del antebrazo hasta el pliegue palmar distal.

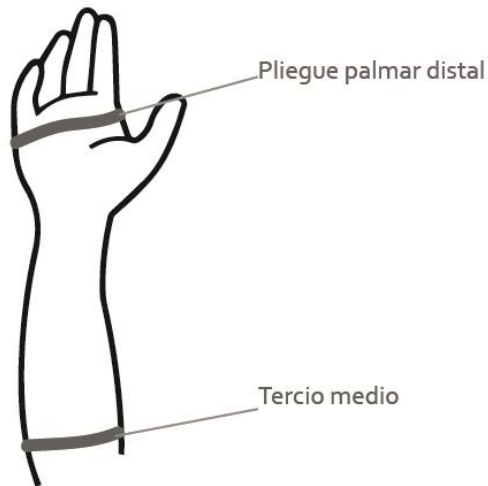


Ilustración 70: Esquema de brazo. Elaboración propia

Pasará por la zona del primer espacio interóseo y la eminencia tenar.

Por lo tanto, se deberán de dejar libres el codo y los dedos. Evitar las presiones en la eminencia tenar para no limitar la funcionalidad del dedo pulgar y se recomienda que la muñeca se inmovilice entre 20-30° para favorecer la función de agarre, pero esto dependerá del tipo de lesión y por tanto será decisión del médico del paciente.

Habrán 4 puntos donde se deberá tener especial atención a la hora de elaborar el diseño: apófisis estiloides del cúbito, primer espacio interdigital, pliegue palmar distal y eminencia tenar.

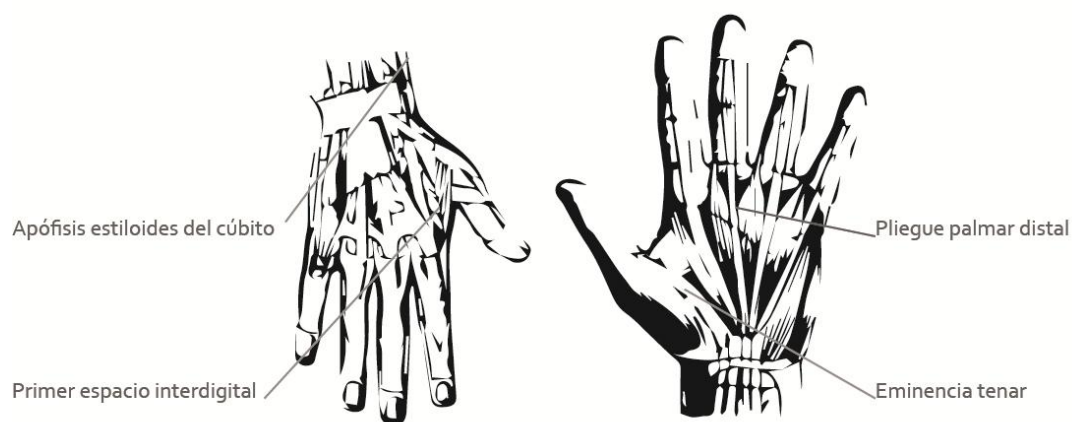


Ilustración 71: esquema de mano. Elaboración propia

2.2.4. Uso, control y mantenimiento

USO Y CONTROL

El uso de la férula será permanente y el tiempo dependerá del tipo de lesión a tratar, y recomendada por el médico.

En este tipo de lesiones, se suele hacer visitas una vez por semana y en ninguna circunstancia se podrá retirar la férula por sí solo. Siempre deberá ser el especialista el que retire la férula ya sea por molestias, dolores, revisión o rehabilitación.

MANTENIMIENTO

Se podrá hacer vida cotidiana mientras se lleve puesta la férula, como escribir, agarrar objetos, bañarse y hacer deporte. Es importante una buena higiene en la zona de la férula. Para ello se puede utilizar una toalla pequeña húmeda con un poco de gel o similar y con movimientos suaves y cuidadosos. Más adelante, se especificarán los cuidados de la férula según el material impreso que se vaya a utilizar.

2.3. Inspiración

Desde un primer momento, me imaginé diseñando una férula no como un mero objeto para la inmovilización de una zona lesionada de nuestro cuerpo, si no como un complemento atractivo. Un complemento como puede ser un reloj o una pulsera, y que estéticamente te encante y quieras que todo el mundo te mire y no esconderlo con una manga larga porque te han tenido que inmovilizar el brazo con un simple yeso.

Me llamó la atención los diseños de Laura Kishimoto, en concreto la silla Yumi, diseñada en 2012. Un diseño que da la sensación de estar inspiradas en formas orgánicas como las caracolas, e incluso de tulipanes o lirios, como se puede apreciar en su vista frontal. Además, sus formas orgánicas envuelven completamente al usuario, formando una segunda piel. El uso de la madera como único material para el diseño del asiento, siendo orgánico, natural y reciclable.



Ilustración 72: Silla Yumi

2.4. Diseño de la órtesis

Una vez se tiene el modelo 3D del brazo, escaneado mediante fotogrametría, se procede a realizar el diseño de la férula. Para ello se han seguido una serie de pasos para llegar a un diseño definitivo y se explica el proceso llevado para obtenerlo.

2.4.1. Primeros bocetos

Los primeros bocetos empezaron a dar forma a la férula, siempre con una clara inspiración en formas orgánicas y/o geométricas.

Primero empecé dimensionando la órtesis según los referentes anatómicos de mi brazo derecho.

Seguidamente, barajé algunas ideas de cómo podía hacer los agujeros de la órtesis, para evitar presiones, facilitar la visión de la lesión, permitir transpirar a la piel y por supuesto para que sea estéticamente atractivo.

Por último cómo se podrían separar y unir las partes de este objeto, siempre cumpliendo con los objetivos previamente marcados.

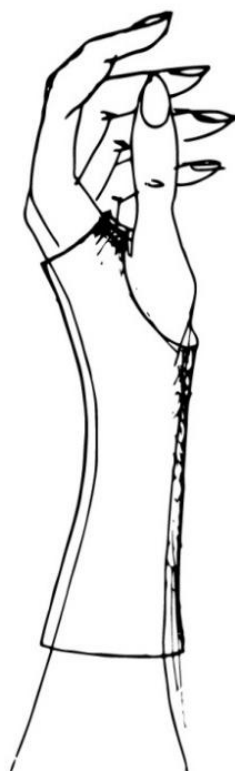


Ilustración 73: Primera idea de férula. Elaboración propia.

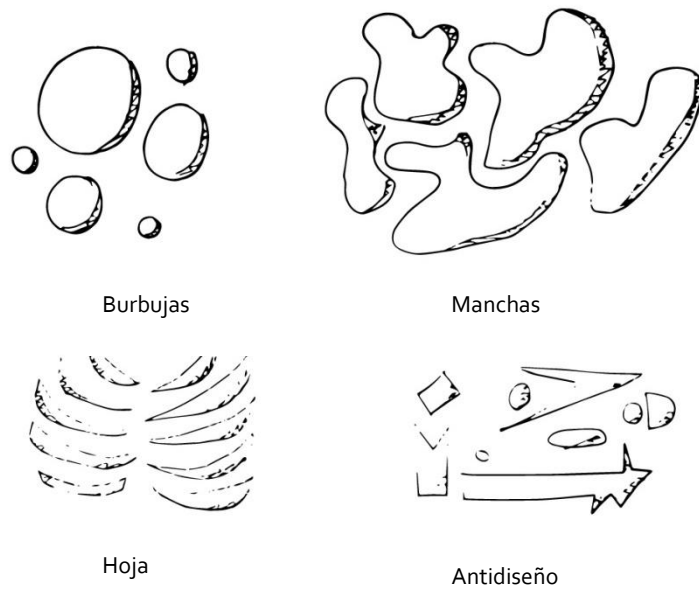


Ilustración 74: Bocetos de agujeros de la férula. Elaboración propia.

La idea inicial siempre fue hacer una férula formada por dos mitades que se unieran entre sí, sin necesidad de otras piezas, si así fuese posible.



Ilustración 75: Piezas de una férula. Elaboración propia.

Las uniones pensadas fueron muy diversas, fáciles de unir y desunir, siempre pensado para unir las dos partes por el perfil de las partes. Con las mínimas piezas posibles y haciendo un efecto de “unión invisible”, que era el objetivo más importante. Se pensaron tres formas de unión: uniones tipo click, uniones con imanes súper pequeños y una unión con bridas.

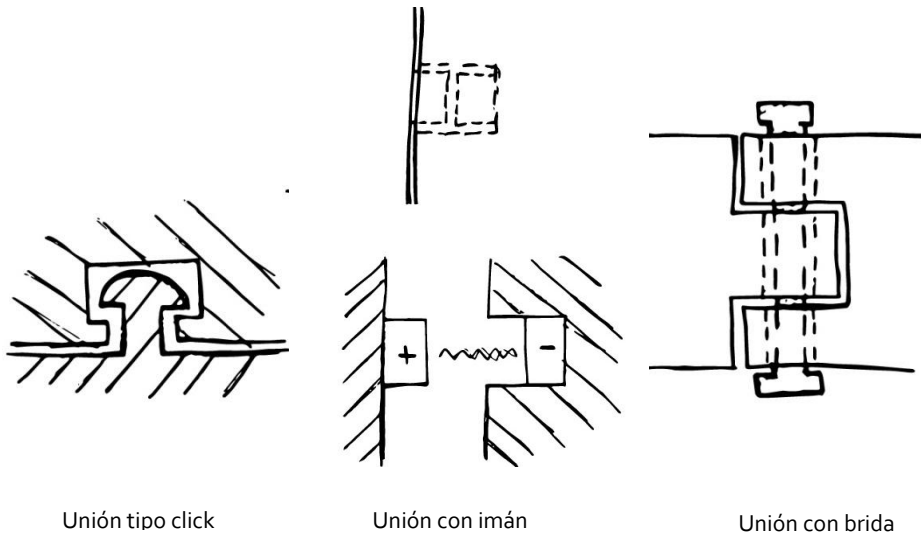


Ilustración 76: Bocetos de unión de dos partes de la férula. Elaboración propia

Finalmente se obtuvo el boceto final de una férula formada por dos partes unidas por pequeños imanes y provista por agujeros en forma de círculos de distintos tamaños.

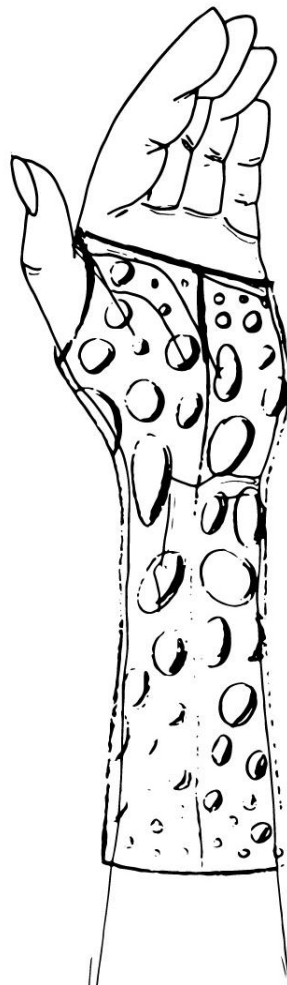


Ilustración 77: Boceto final. Elaboración propia.

2.4.2. Idea definitiva

Una vez se han realizado los primeros bocetos, se procede a dibujar el diseño final antes de crear el modelo 3D del mismo.

Se ha conseguido una órtesis formada por dos partes, completamente llena de agujeros que van cambiando de tamaño progresivamente. Esto es así para que los agujeros mas grandes ayuden a que no haya un contacto continuo entre el hueso y la órtesis. La unión definitiva sería con imanes muy pequeños que irán pegados a las órtesis y se introducirán en una ranura para obtener así una unión invisible, fija y antideslizante.

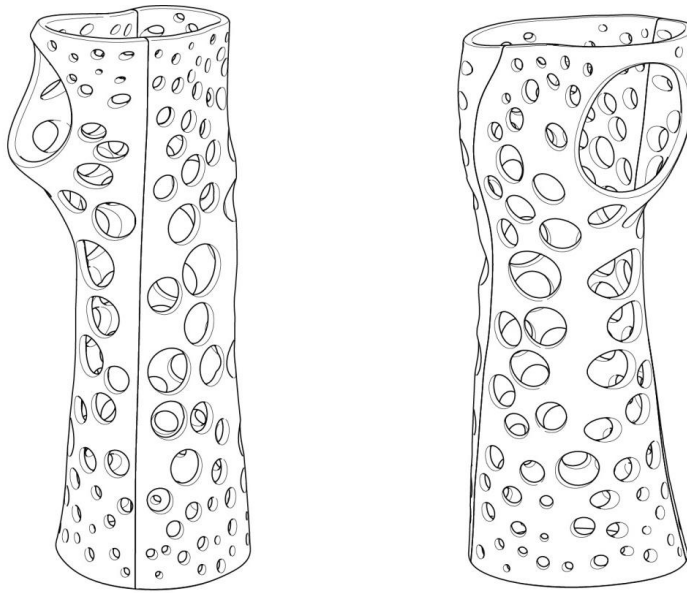


Ilustración 78: Idea definitiva de férula unida. Elaboración propia.

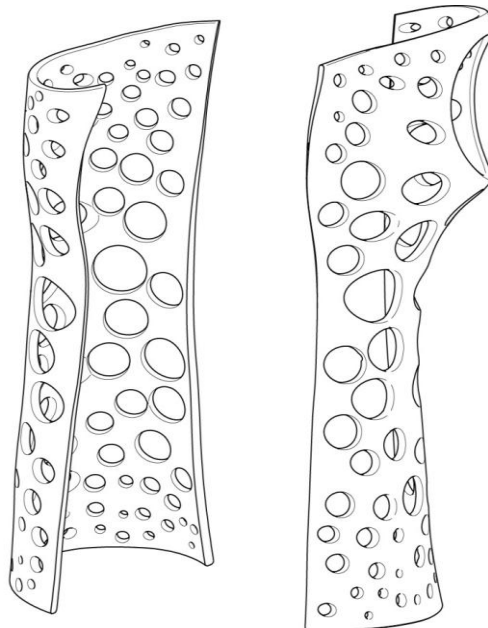


Ilustración 79: Férula separada en dos partes. Elaboración propia.

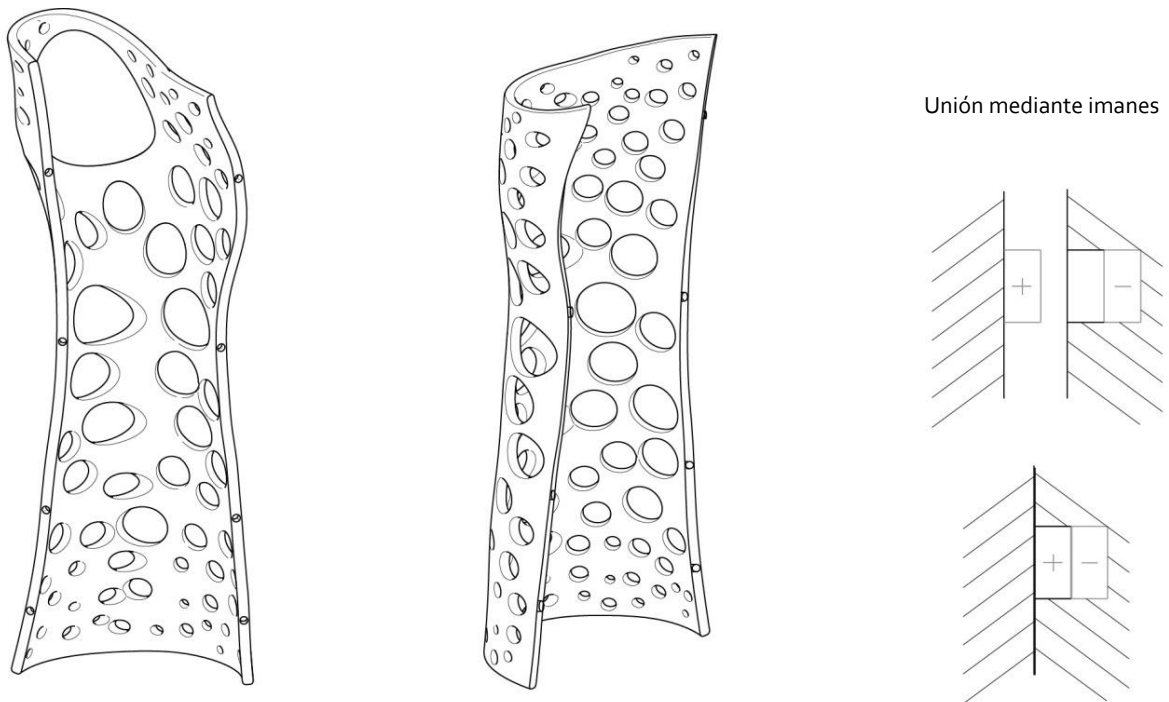


Ilustración 80: Unión de las dos partes mediante imanes. Elaboración propia.

2.4.3. Desarrollo de la idea

En este apartado se va a describir el diseño final de la férula, la descripción de los elementos que la componen y como se adapta al brazo para cumplir su función.

2.4.3.1. Elección del diseño

Durante la fase creativa del proyecto se ha logrado transformar la idea inicial del diseño de una férula totalmente personalizada en un proyecto definido. A través de la investigación, la búsqueda de información y de barajar y analizar distintas posibilidades de diseño, se ha logrado concretar una solución viable que dé satisfacción a los objetivos previamente establecidos.

2.4.3.2. Descripción de los elementos

La férula está compuesta por dos partes que se unirán entre sí gracias a unos imanes. A continuación, se va a hacer una descripción de todos los elementos que componen la férula, compuesta por dos partes impresas en 3D y unos imanes.

- **Férula:** La férula está compuesta por dos partes impresas con material PLA Ivory White. Las dos tienen el mismo tipo de diseño, adaptándose a la forma del brazo. Se han realizado agujeros circulares simulando la forma de unas burbujas, dando un efecto progresivo y orgánico. Algunos de los agujeros están posicionados en puntos

importantes, siendo éstos los que tienen una dimensión mayor, como es el agujero para el dedo pulgar y las zonas donde no debe de hacer presión, mencionado anteriormente. Además, estos agujeros permiten que la piel respire y sea fácil de limpiar, que sea más ligero y visualizar la lesión.

En este caso, la férula completa mide 184,4x81,2mm y 3,5mm de espesor, y con un peso total de 76g, adaptado completamente a mi brazo derecho, siendo capaz de inmovilizarlo y de permitir hacer una vida cotidiana.

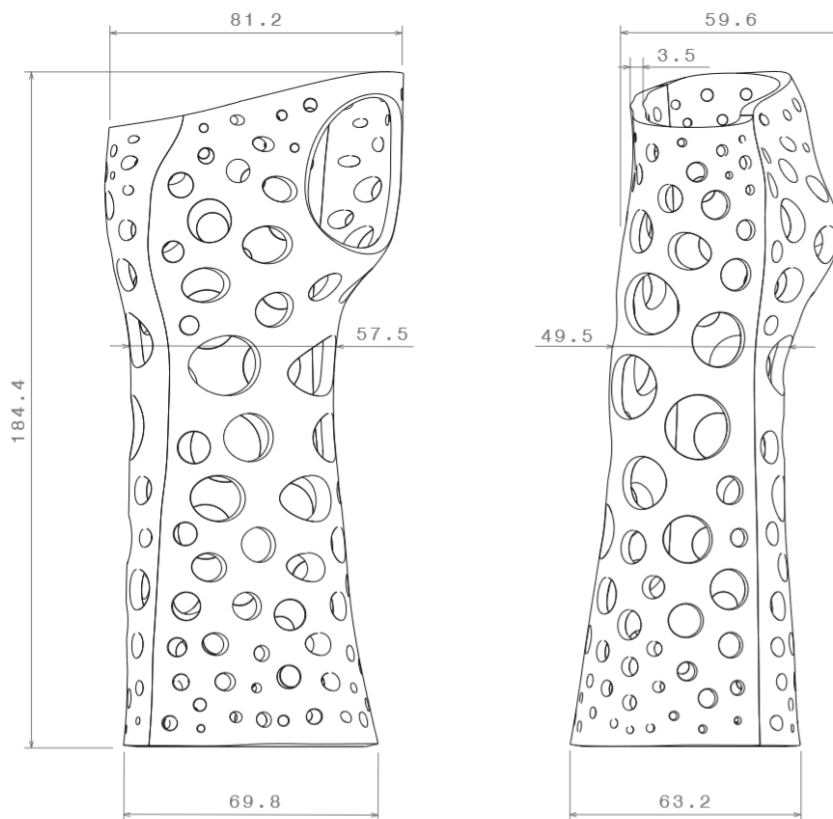


Ilustración 81: Medidas generales. Plano 02.

La primera parte de la férula mide 180,4x70,3mm y 3,5mm de espesor, y un peso de 28g. Y la segunda mide 184,4x69,1mm. Esta segunda se define con 8 agujeros a lo largo del perfil para introducir los imanes, y en la primera irán unidos a la superficie del perfil. Se consigue así una unión invisible y una continuidad en la ergonomía y en la estética.

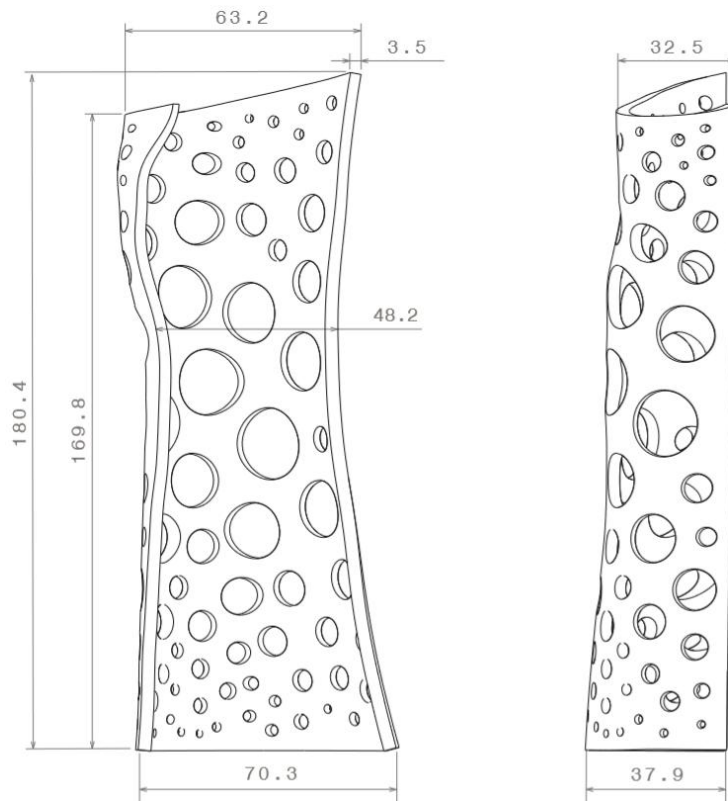


Ilustración 82: Parte 1 férula. Plano 03.

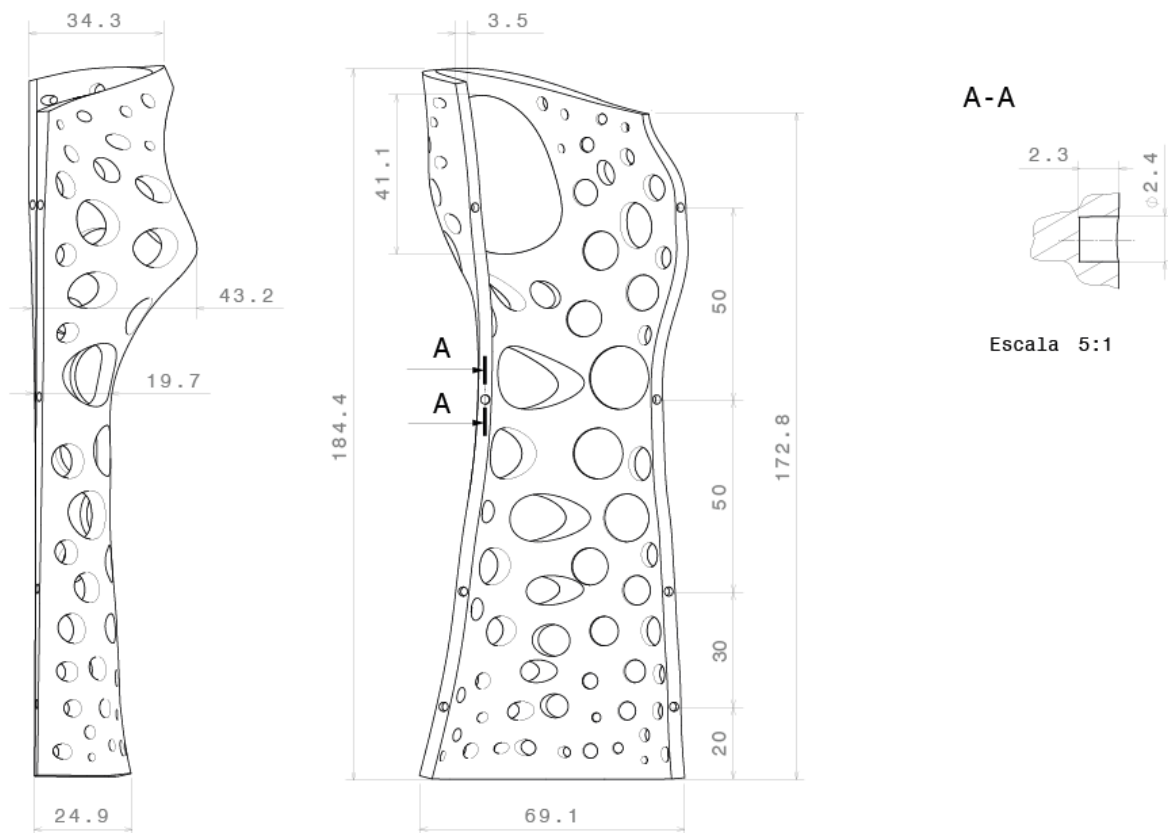


Ilustración 83: Parte 2 férula. Plano 04.

-Unión: la unión de las dos partes de la férula se realizará mediante imanes de 2x1mm que se colocarán en el perfil de unión de ambas. Se utilizarán 16 imanes, 8 de polo positivo y 8 de polo negativo. Cada uno de ellos ejerce una fuerza vertical de 0,13 Kg, por lo que se requerirá una fuerza de unos 2kg para separar las dos partes de la férula.

Son imanes NdFeB N42 (Nomenclatura NdFeB 318/96) imán de neodimio de alto grado, formando parte del grupo de tierras raras y que representan la última generación de los materiales magnéticos. Dichos imanes poseen propiedades muy superiores a los tradicionales como la ferrita o el alnico, siendo actualmente los imanes más potentes del mercado.

Gracias a su recubrimiento en Níquel, evitamos perder propiedades y una posible corrosión u oxidación mediante agentes externos o atmosféricos, permitiéndonos sumergirlo bajo la ducha.



Ilustración 84: Imanes de 2x1mm.

2.4.3.3. Adaptación brazo y férula

Para adaptar la férula diseñada al brazo de la persona lesionada, primeramente, se deberá escanear el brazo del paciente para obtener el modelo 3D y diseñar la férula a proporción, o adaptar un diseño 3D ya obtenida anteriormente. Se deben de tener la anatomía del brazo, los objetivos propuestos y las recomendaciones del médico, mencionado anteriormente.

Normalmente, cuando sufrimos una lesión en la muñeca, se suele hinchar y salir hematoma, por lo que tendrá que ser lo más visible la zona afectada y dejar una tolerancia entre 1 y 2mm entre férula y brazo. De esta forma, facilitamos la visión ocular del médico para comprobar el estado de la lesión.

Como buscamos una ligereza y una comodidad, siempre cumpliendo su función para rehabilitar la lesión, el espesor de la férula será lo mínimo posible. En este caso se ha considerado un espesor de 3,5 de mm, como en algunas férulas mencionadas en el estudio de mercado.

2.4.3.4. Montaje

La forma de unión de las dos férulas es muy sencilla. Gracias a las 8 ranuras que hay a lo largo del perfil de una de las férulas, se introducirán y pegarán mediante pegamento Loctite los 8 correspondientes imanes dejando un hueco. La otra férula llevará directamente los 8 imanes de polo opuesto.

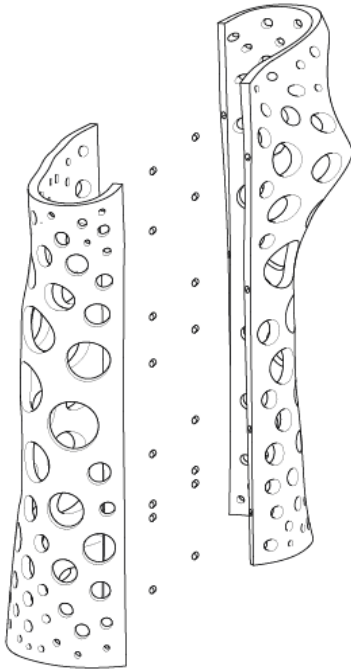


Ilustración 85: conjunto férula. Plano 01.

Para fijar las dos partes de la férula se unirán los imanes y quedará totalmente fijo.

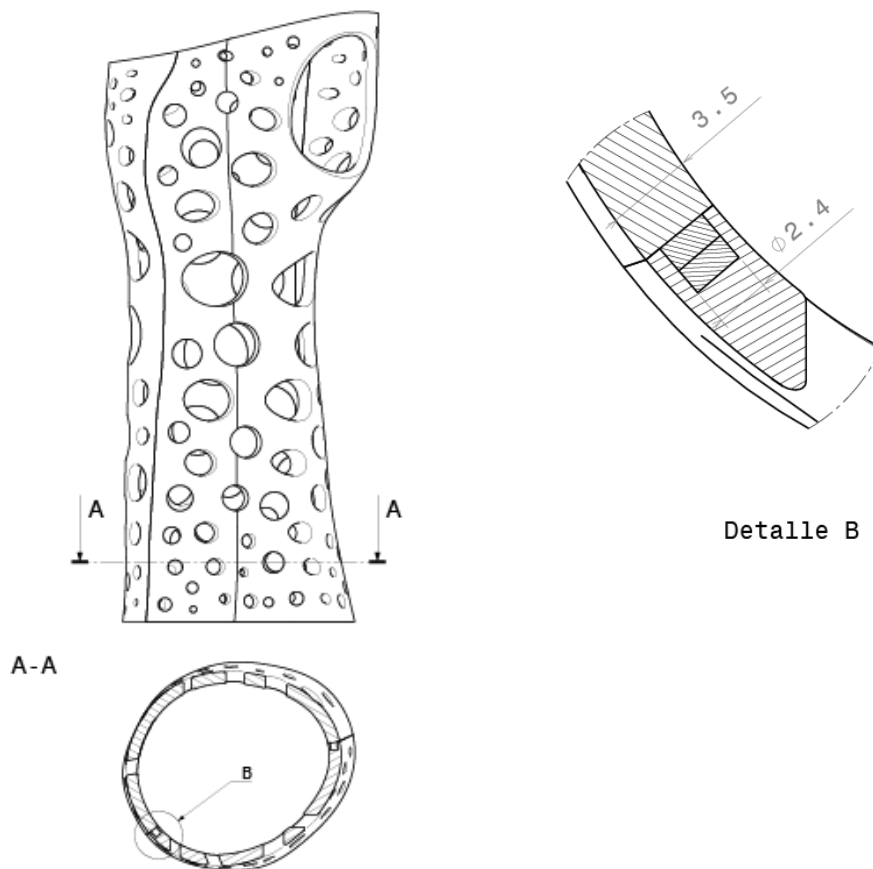


Ilustración 86: Detalle sistema de unión. Plano 05.

2.4.4. Resultado final-renders

Se ha conseguido obtener una férula totalmente adaptada, en este caso, de mi brazo derecho, y por tanto se han cumplido los objetivos iniciales.

En cuanto al diseño, se ha querido reflejar la idea de una férula que forma parte del brazo, como si se tratara de una segunda piel, un complemento atractivo y eficaz. Los mínimos elementos, fácil de usar y cómodo para el usuario.

Los distintos agujeros ayudan a cumplir algunos objetivos como son la visibilidad de la lesión, la higiene y la supresión de presión en algunas zonas. Con la unión se ha querido conseguir una fijación invisible acorde con el diseño inicial y eficaz.

En cuanto el color de la férula, se ha elegido un plástico transparente, que se especificará más adelante. Con esta idea se quiere acentuar la idea de que sea nuestra segunda piel, un objeto invisible pero que actúa rehabilitando nuestra lesión.

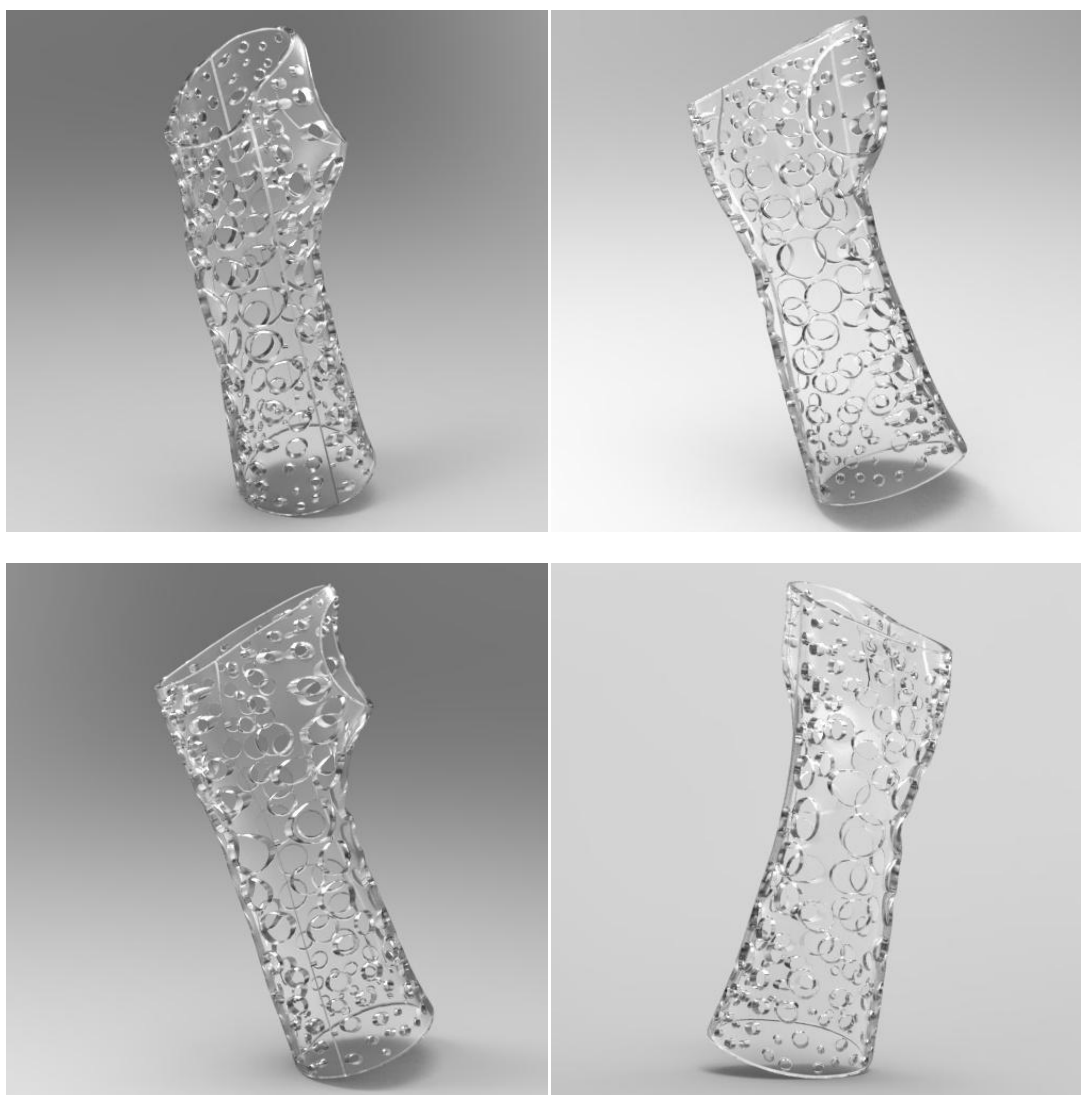


Ilustración 87: modelo 3D de la férula completa-360°



Ilustración 88: modelo 3D de la férula completa

Se dará a los usuarios la opción de personalizar su férula, por lo que se proponen distintos colores, principalmente de la imagen corporativa que se detallará en otro apartado, y con distintos efectos mate o con brillo, aunque siempre impreso con PLA Ivory.

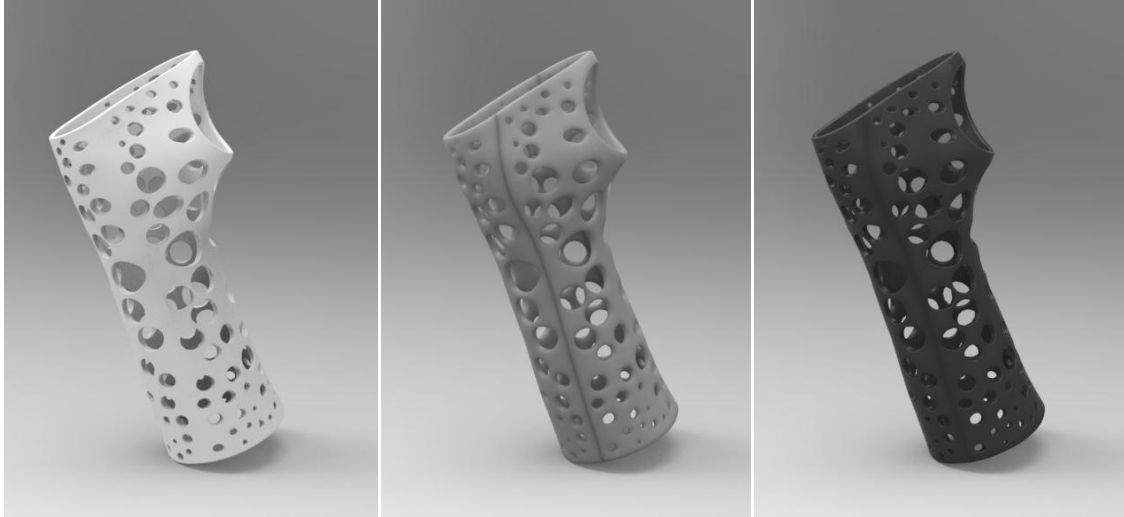


Ilustración 89: Modelos 3D personalizables

2.4.5. Proceso de obtención del modelo 3D: Férula

Cuando tenemos la idea definitiva de un producto, después se deberá diseñar un modelo 3D del mismo. Con ello conseguimos un modelo virtual en el que obtendremos sus medidas reales y se podrá comprobar si nuestro producto funciona y hacer algunos análisis, si así fuera necesario.

En este caso se ha querido obtener un diseño de férula que cumpla su función pero que a su vez se pueda modificar para el brazo de cualquier persona, sea niño, adulto, diestro o zurdo. Con esto se quiere obtener un modelo 3d que se pueda adaptar a cada brazo, ahorrando tiempo y costes.

2.4.5.1. Software

El software utilizado para diseñar la férula ha sido CATIA V5-6R2013. Es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por ordenador CAD. Es capaz de proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta su producción y el análisis de productos.

Es un programa muy poco económico ya que es muy completo y especializado en gran variedad de áreas. En este caso se ha obtenido una licencia gratuita de estudiante de 1 año para poder realizar el diseño.

Los módulos usados han sido Part Design, Assambly Dessign, Drafting y Wireframe and Surface Design, todos ellos de Mechanical Design.

2.4.5.2. Creación del modelo 3D

Para empezar con el diseño de la férula, se ha importado el modelo 3D del brazo y se ha modificado para facilitar el diseño de la férula, como se ha detallado en el apartado de escaneado del brazo.

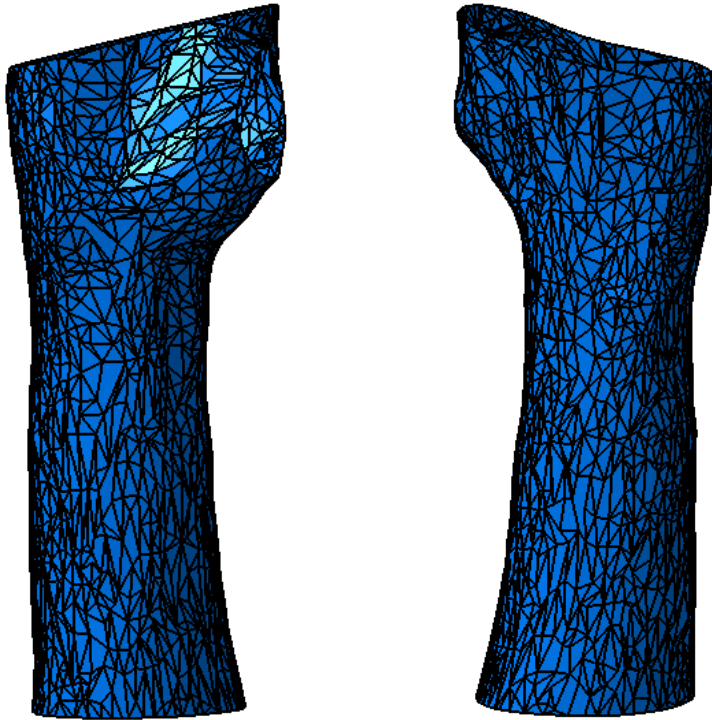


Ilustración 90: Modelo 3D brazo.

SURFACE DESIGN

Desde el módulo de Surface Design, se ha dividido la férula en 10 secciones y se ha dibujado la sección del contorno en cada plano, siempre dejando una tolerancia entre 1 y 1,5 mm según la zona. A continuación, se han dibujado 4 perfiles que pasan por todas las secciones. Después utilizando la herramienta Multi-sections se ha realizado la superficie.

Dibujando estos perfiles por secciones nos facilitarán el trabajo si tenemos que hacer modificaciones en las dimensiones, ya sea por mejorar el modelo o para adaptarlo a otro modelo 3D de brazo de otra persona.



Ilustración 91: Diseño para la elaboración de la superficie de la férula

La geometría que queremos conseguir es muy compleja, por lo que se recomienda suavidad entre las curvas ya que puede dar muchos problemas en el diseño. Después se cortarán las partes sobrantes. Se deberá comprobar que entre la férula y el brazo no haya una superposición y que existe una pequeña holgura de no más de 1,5 mm.



Ilustración 92: Modelo 3D de férula con superficies

PART DESIGN

A continuación, se dividirá la superficie en dos partes, dándoles un espesor de 3,5mm a cada una. Este paso puede dar lugar a errores si la geometría de la superficie no es correcta, ya sea por discontinuidad en la superficie o cambios bruscos en la geometría.

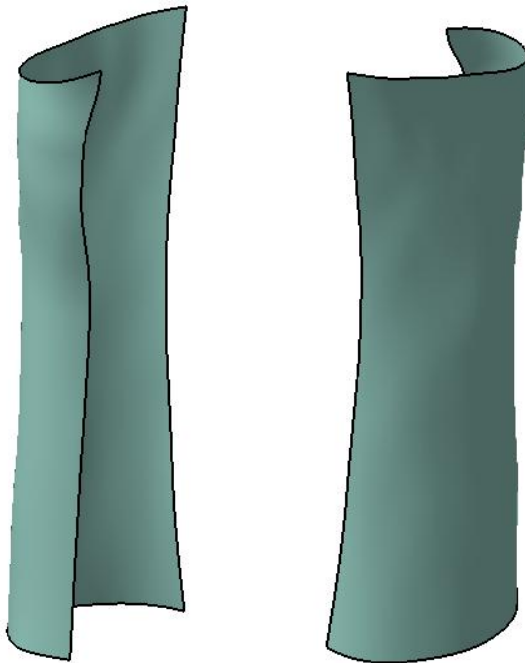


Ilustración 93: Parte 1 de férula con espesor

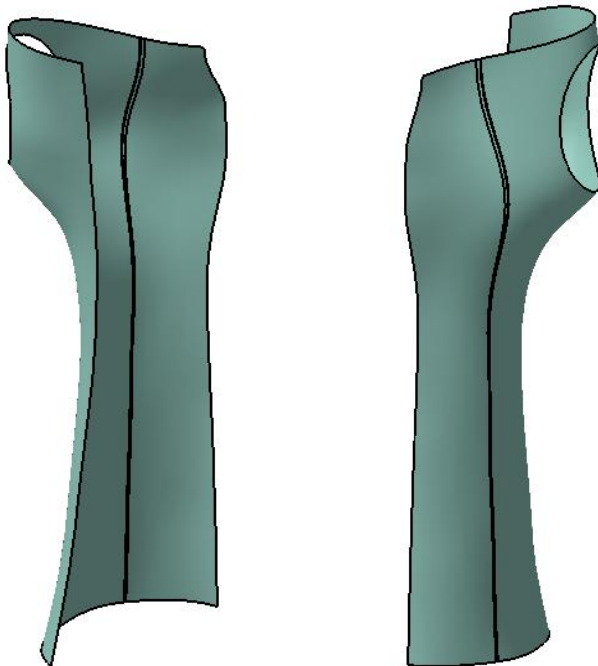


Ilustración 94: Parte 2 de férula con espesor

Después se procederá a realizar los distintos agujeros, donde los de diámetro mayor se concentrarán en el centro, y los de diámetro menor en los extremos, utilizando la herramienta Pocket y CircPattern. Una vez tenemos el diseño finalizado, se suavizarán aristas con un pequeño redondeo.

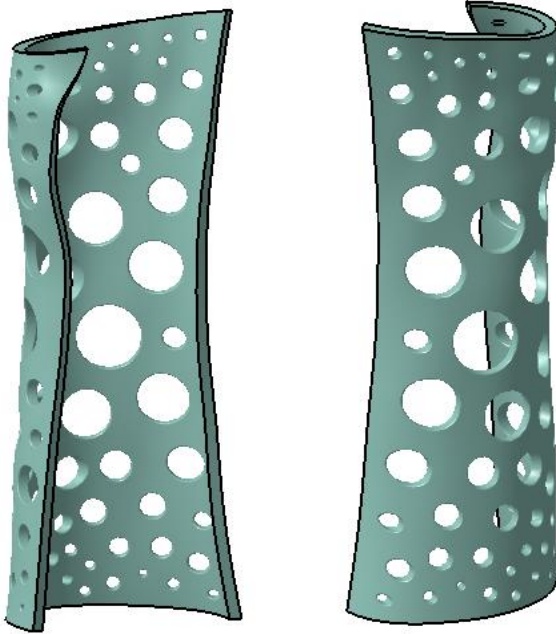


Ilustración 95 Parte 1 de férula con agujeros



Ilustración 96: Parte 2 de férula con agujeros

ASSAMBLY DESIGN

Se unirán las dos partes en el módulo Assambly Design.



Ilustración 97: Modelo 3D de férula

Por último, se diseñan los 8 huecos en una de las férulas, la que tiene el hueco del dedo pulgar, en 4 secciones en 4 alturas diferentes, intentando que la separación entre las secciones sea similar y/o que se unan en los puntos más frágiles. Y a continuación se colocarán los 16 imanes.



Ilustración 98: Parte 1 y 2 de férula con sistema de unión

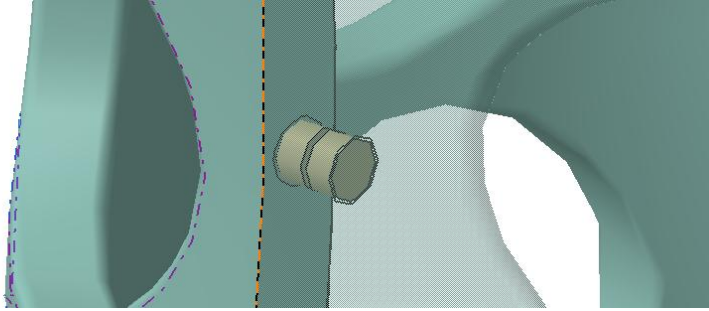


Ilustración 99: Detalle sistema de unión mediante imanes

Una vez tenemos el diseño finalizado, podremos exportarlo a otros programas para hacer algún análisis, hacer renderizados, incorporar materiales e incluso proceder a su impresión 3D. Además, mediante el módulo Drafting, podremos elaborar los planos de representación de la férula completa y su forma de unión.

2.4.5.3. Adaptación para distintos brazos

Gracias a esta forma de hacer el diseño de la férula, se podrá adaptar a cada brazo. Esto se puede conseguir sustituyendo el modelo del brazo por otro de distinto tamaño, previamente escaneado, y adaptando las secciones al nuevo brazo. De esta forma conseguimos adaptar un diseño inicial a otra persona con las mismas necesidades y obtener una férula totalmente adaptada, abaratando tiempos y costes ya que evitamos diseñar desde 0 un modelo virtual de la férula.

2.4.6. Resultado final- 3D en Catia



Ilustración 100: Férula final diseñada en Catia.

2.5. Imagen corporativa

Se ha diseñado un logotipo como marca comercial para la férula diseñada.

2.5.1. La marca

Como nombre de marca comercial de la férula se ha seleccionado la palabra "2Skone". Esta palabra surge de la idea de una férula que forma parte de nuestro brazo como si se tratara de una segunda piel, un complemento más en nuestro brazo que no queremos esconder.

La palabra está compuesta por la unión de dos palabras en inglés: skin, que en español significa piel, y bone, que en español significa hueso. La unión de las dos palabras nos da lugar a la palabra skone. A su vez, está acompañado de un dos, 2, acentuando el concepto de que es una segunda piel, y que la férula nos ayuda a rehabilitar el hueso roto, siendo un segundo hueso, consiguiendo la palabra "2Skone". Además, skone significa precioso, hermoso, en afrikáans que es una lengua germánica, por lo que nos adquiere otra característica importante en la férula, una férula con estética atractiva, preciosa, hermosa.

Al final se consigue un nombre que proporciona dos características importantes, rehabilitar una lesión en el hueso y conseguir una férula como segunda piel, y que deriva en un concepto muy importante, ser estéticamente atractivo, hermoso, precioso.

2.5.2. El color

Se ha utilizado la textura de un plástico, semejante a la textura que adquiere una pieza fabricada por impresión 3D. Siendo el blanco como el color predominante, ya que es un color neutro, limpio al igual que similar al hueso humano.

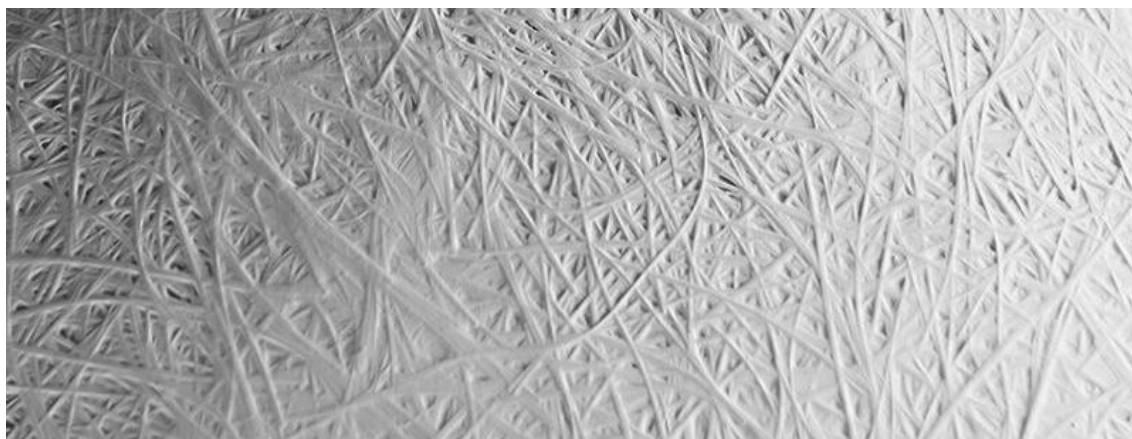


Ilustración 101: Textura de filamentos impresos en 3D

2.5.3. La tipografía

La tipografía nos acentúa, como el color, un estilo limpio y neutro, con las líneas finas y rectas. Se ha utilizado la fuente JHONA.

2.5.4. El logotipo

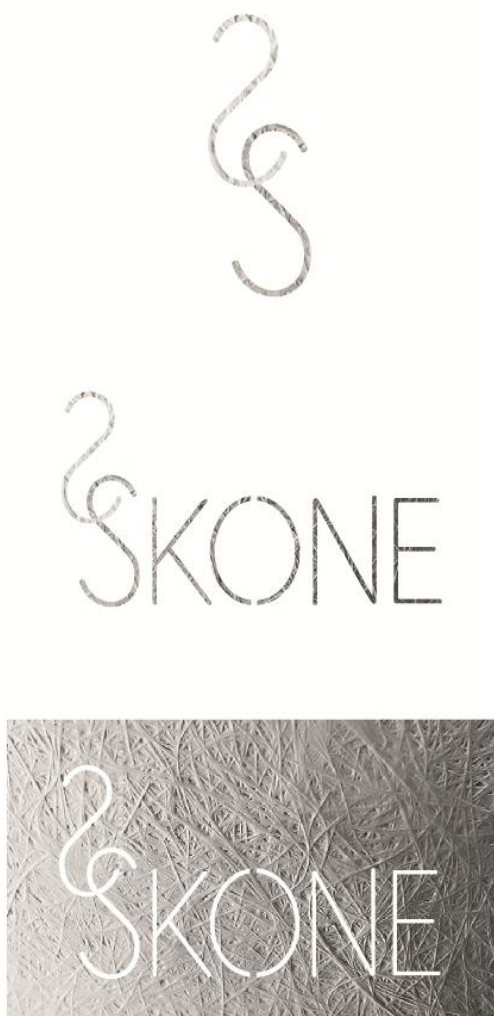


Ilustración 102: Logotipo SKONE.

2.6. Conclusión

Para realizar este tipo de diseño, se necesita una formación previa sobre diseño asistido por ordenador, en concreto en los módulos mencionado anteriormente, ya que la geometría es muy específica y el programa CATIA V5 es el más idóneo para ello.

Al obtener un diseño totalmente adaptado a cada persona, cada vez que se quiera fabricar una férula, habrá un tiempo de rediseño de férula acorde a las necesidades del paciente donde podremos economizar en tiempos y costes.

Hay que tener especial cuidado con las discontinuidades en la superficie de la férula y los desniveles, ya que ocasiona muchos errores en su geometría y el programa no te permite crear un espesor para su posterior impresión en 3D.

En definitiva, se ha conseguido diseñar un modelo virtual de una férula adaptada al brazo de una persona, en este caso mi propio brazo derecho. El hecho de haber diseñado una férula en Catia V5 mediante perfiles modificables en diferentes secciones, nos va a permitir adaptar de una forma más sencilla ese diseño a cualquier brazo importado a Catia V5 que ha sido escaneado en 3, abaratando tiempos y costes.

Los distintos agujeros que hay a lo largo de la férula, permiten que la piel pueda transpirar y a su vez permite visualizar el brazo para dar visibilidad a la zona lesionada y facilitar su examinación visual.

Las uniones invisibles mediante pequeños imanes, permiten la unión de las dos partes de la férula. Esto hace que estéticamente parezca una única pieza, y aparentemente sea más atractivo y más ergonómico. Además, permite que las dos piezas estén fijas pero separables.

El diseño se puede adaptar a cada persona y personalizar a su gusto. Su forma adaptada y su ligereza permiten hacer una vida cotidiana. El diseño de una marca corporativa nos dota de una marca comercial y de una imagen ante proveedores y/o clientes.

3. IMPRESIÓN 3D

Finalizado el diseño virtual de nuestra férula, se procede a su fabricación mediante impresión 3D. Gracias a ello, podremos obtener nuestro primer prototipo físico de forma rápida y muy económica. Podremos hacer pruebas visuales de su ergonomía, de adaptabilidad, y análisis de resistencia, entre otros, antes de tener nuestra órtesis definitiva.

Se ha optado por usar la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM), ver apartado de FDM, que es la técnica mediante la cual un filamento abastece material hacia un extrusor. Se funde el material, hasta alcanzar un estado semilíquido, para extruirlo, y lo deposita sobre las capas inferiores más frías, desplazándose por la cama de impresión de acuerdo con la geometría requerida. De esta forma, capa a capa, se genera el modelo de la pieza a fabricar.

Se ha elegido la impresión 3D mediante FDM por diversos motivos:

- La tecnología es limpia, fácil de usar y se pueden usar en oficinas y domicilios.
- Los termoplásticos de producción compatibles son estables mecánica y medioambientalmente. Además, existen plásticos con muy bajo coste.
- Nos permite fabricar prototipos con geometrías complejas.

3.1. Objetivos

Antes de empezar con la fabricación del prototipo de la férula, se marcaron unos objetivos. Estos objetivos están relacionados con el diseño de la férula, ya que se ha tenido en cuenta en todo momento en el diseño virtual de la misma y las capacidades de la impresión 3D por FDM.

-El material de la férula tiene que ser ligero, de bajo coste, sumergible en agua, duro pero con cierta flexibilidad, fácil de imprimir y accesible, y lo más importante, apto para el contacto humano y alimenticio.

-La marca de la impresora debe tener la capacidad de imprimir la férula, ya que tiene una geometría compleja, por sus curvas, huecos y agujeros, y un espesor pequeño.

-Conseguir una férula impresa en 3D totalmente adaptada a mi brazo.

-Pegamento que una los imanes con el material de la férula, y a su vez apto para el contacto humano y alimenticio, y que pueda sumergirse en agua sin perder sus propiedades.

3.2. Impresora 3D

La impresora 3D usada para la fabricación de la férula es el modelo **Creality3D Ender-3**, considerada como la mejor impresora de 2019 más asequible, unos 200€, y con más calidad de impresión del mercado por All3DP.



Ilustración 103: Impresora 3D Creality3D Ender-3.

Esta impresora 3D se basa en la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM), es la técnica mediante la cual un filamento se desenrolla de una bobina o carrete y abastece material hacia un extrusor que deposita material semilíquido capa sobre capa hasta conseguir el modelo deseado.

Se ha elegido esta impresora porque es económica, el volumen de impresión es el adecuado para la férula, ocupa poco espacio y es silenciosa, dispone de cama caliente y es de fácil nivelación, y lo más importante, tiene una calidad alta de impresión y un precio muy económico de 200€.

Especificaciones técnicas:

El volumen de impresión es de 220x220x250mm.

Diámetro del cabezal de 0,4mm.

Tipos de filamentos: PLA, ABS, TPU etc de 1,75mm.

Velocidad máxima de impresión de 200mm/s.

Máxima resolución de la capa de 0,1mm.

Precisión de impresión de +/- 0,1mm.

Temperatura máxima del extrusor de 255°C.

Cama caliente de impresión que alcanza una temperatura de hasta 110°C.

Tiene conectividad USB, tarjeta SD o en línea.

Contiene una pantalla LCD.

Formatos compatibles: .stl, .obj, G-code.

Sistemas operativos compatibles: Windows, Mac y Linux.

Dimensiones de la impresora 3D: 440x410x465mm.

3.3. Material

El material elegido para la impresión de la férula es el **PLA Ivory en Blanco**. El PLA es muy adecuado para la fabricación de este modelo ya que es un plástico biodegradable, se comporta muy bien con piezas angulosas y se consigue una resolución excelente de impresión y buen acabado superficial.



Ilustración 104: PLA Ivory blanco

Se ha escogido el color blanco “hueso”, siguiendo la línea del concepto de SKONE de crear una férula que se adapta y se cree un efecto de segunda piel. Además, el color del material influye de forma visual en cómo apreciamos las capas de la impresión según cómo incida la luz, y gracias al color blanco se puede visualizar una superficie más limpia.

No produce warping, es decir, no se produce una contracción del material que tienda a levantar las esquinas del modelo. Además, gracias a que la impresora tiene una cama calefactada también podremos evitar el warping para este material o para otros.

Ficha técnica:

Pla 1 75mm (+-0,03mm)

Color Ivory White

Size M(750g)

Densidad 1,24 g/cm³

Temperatura de trabajo 220+-20°C

Cama caliente 0-60°C

Gran Resistencia a la tracción 110 MPa

Módulo de tracción 3309 MPa

Alargamiento a la rotura 160%

Alta calidad superficial y buena rigidez.

Facilita el trabajo a altas velocidades de impresión.

Inodoro.

Biodegradable.

Reciclable.

3.4. Software

El software utilizado para la impresión en 3D de la férula es Simplify 3D. Gracias a este programa, se pueden introducir unos parámetros e instrucciones que la impresora pueda entender, como es el material que se va a usar, altura de la capa, velocidad de la capa... etc, y así poder hacer una impresión 3D completa de la férula. Simplify 3D es compatible con más impresoras 3D que otros software por lo que nos da una flexibilidad muy alta a la hora de elegir una impresora 3D, y además está considerada como una de los mejores software profesionales.

Una de las grandes ventajas de este programa, si lo comparamos con otros como Cura, es que nos permite hacer modificaciones y adaptaciones en cada capa, por lo que se puede mejorar los detalles de la pieza. Sus resultados son más cuidados y finos, y además permite crear soportes de forma automática. El precio de compra del programa es de 133€, con la opción de prueba gratuita de 2 semanas.

3.5. Proceso de fabricación

Una vez hemos finalizado el diseño 3D de la férula en Catia V5, se procede a la preparación del modelo para su impresión 3D. A continuación, se han detallado los pasos seguidos hasta obtener el prototipo final de la férula.

3.5.1. Posicionamiento y formato del modelo:

Desde Catia V5 posicionamos las dos partes de la férula en vertical. Se ha elegido esta posición porque de esta forma la apoyamos en una superficie plana y paralela a la cama de la impresora y además, al tener tantos agujeros, en esta posición reduciremos la impresión de hilos de soporte. Se mejorará la calidad superficial y los tiempos de impresión, y por tanto, los costes de la misma.

Es recomendable posicionar el modelo desde Catia V5 ya que es más rápido y más preciso, aunque también se puede realizar desde Simplify3D. El formato del modelo para llevarlo a simplify 3D y proceder a la preparación de su impresión es .stl.

La impresora elegida nos permite imprimir ambas partes de la férula al mismo tiempo, ya que está dentro de los límites de impresión de la impresora, tanto de ancho como de altura.

3.5.2. Parámetros e instrucciones en simplify 3D:

Abrimos Simplify3D y elegimos la impresora Creality3D Ender-3 como nuestra máquina de impresión 3D, adaptándose la cama de la impresora a la elegida, y si no lo hubiese se pueden configurar los parámetros.

A continuación, importamos el modelo 3D en formato .stl en simplify 3D y comprobamos que ambas partes están bien posicionadas en la cama de impresión y reagrupadas, igual que en Catia V5. Generamos los soportes para dar estabilidad al modelo y para crear perfectamente los orificios. Cuanto más material de soporte, más tardará la impresión y más tardaremos en hacer un buen acabado superficial, por lo que elegimos la opción de generación de soporte en ángulos de 60° y a un 20%.

Introducimos el material PLA como material de impresión y con calidad alta, y el software nos proporciona unos datos automáticos y adecuados para ese material.

Estos datos se pueden modificar según nos convenga, pero es una gran ventaja que el programa te recomiende los parámetros de impresión según el material ya que te ahorras tiempo e incluso te garantiza una buena impresión 3D si tus conocimientos en impresión 3D son todavía de principiante.

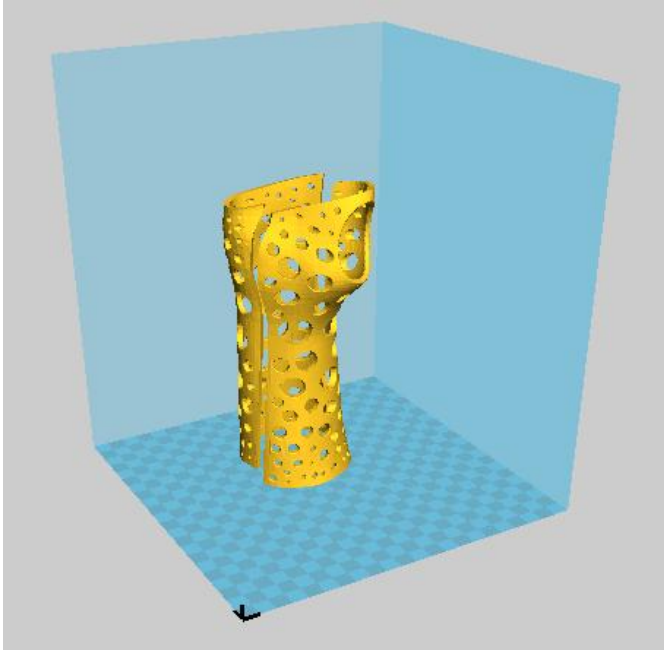


Ilustración 105: férula en simplify3D.

3.5.3. Algunos parámetros importantes a tener en cuenta

_Extrusor, ponemos el tamaño del diámetro de la boquilla que es la misma que el hilo del material a 1,75mm y con un solo extrusor. Por defecto, el multiplicador de extrusión será de 1 y el ancho de extrusión de 0,48mm ya que con estos datos ya obtendremos una impresión de buena calidad.

_Capa, introducimos 0,2mm de altura de capa primaria, una capa sólida superior, la capa después del mallado, de 3, y de fondo y contorno también de 3. Impresión de dentro hacia fuera ya que tenemos algunos puntos en voladizo. Estos parámetros nos definirán la calidad de la impresión. En este caso la calidad que se busca sobre todo es estructural por lo que el que se vean las capas es indiferente, solo estética. Gracias al color blanco del PLA podremos disimular visualmente las capas.

_Adiciones, offset de la falda de la parte a 4mm o skirt, es una técnica para asegurar que el extrusor funciona correctamente antes de imprimir la pieza. Consiste en extruir un perímetro, un marco, alrededor de la pieza antes de comenzar a imprimir la pieza. Nos aseguramos de que el filamento sale en perfectas condiciones.

_Relleno, el fast honey es rápido y da una consistencia muy buena al modelo. El relleno lo ponemos al 25%, que es el % que se superpone una línea de contorno con otra. Los demás datos los dejamos por defecto.

_Temperatura, el extrusor a 200°C y una cama caliente a 60°C, parámetros pensados para un material PLA.

_Velocidad, V de la capa 60m/s y la primera la hace a menor velocidad al 60%, para mayor precisión ya que es importante una buena base.

3.5.4. impresión 3D

Encendemos la impresora y calentamos el extrusor y la cama a la temperatura mencionada anteriormente, y esperamos unos minutos hasta que llegue a la temperatura deseada. Colocamos la bobina con el filamento PLA, y hacemos llegar el extremo del filamento al extrusor. En este caso, la impresora ya fue calibrada anteriormente.

Preparada la impresora y definidos los parámetros e instrucciones del modelo, cargamos éste en una tarjeta SD a la impresora, aunque también se puede hacer desde el portátil conectándose por cable, aunque las probabilidades de error son más altas.

Rociamos el pegamento dimafix sobre la cama de la impresora para asegurarnos una mejor fijación del modelo a la cama y evitar que se despegue a mitad de su impresión. Y por último, iniciamos la impresión.

Una de las ventajas de la impresión en 3D es que no es necesaria su supervisión, ya que la impresora hace todo el trabajo de fabricación, aunque es recomendable de vez en cuando comprobar que se está imprimiendo correctamente porque pueden surgir errores como por ejemplo que el modelo se despegue de la mesa, se acabe el filamento, que el extrusor se tapone etc...

Para este modelo se han necesitado unas 10h de impresión, aunque simplify 3D nos marcaba 8h siempre hay que dejar un margen mayor ya que éste tiene la capacidad de ir variando la velocidad de pasada según la dificultad del modelo.

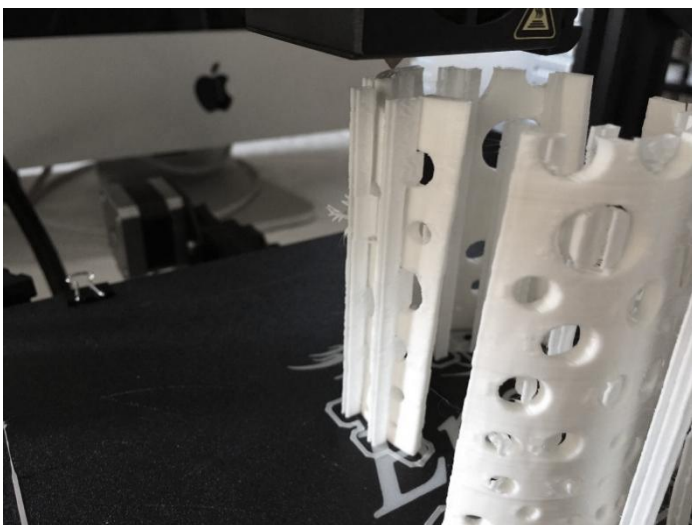


Ilustración 106: Detalle de la férula mientras se realiza la impresión 3D. Elaboración propia.

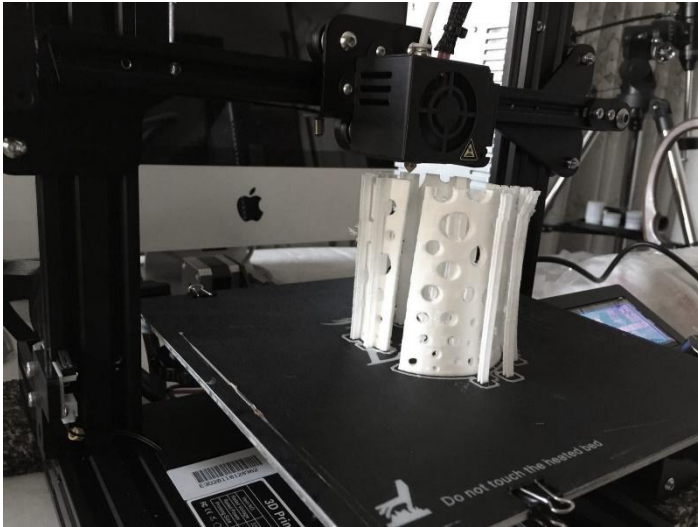


Ilustración 107: Impresión 3D de la férula. Elaboración propia.

3.5.5. Acabado superficial

Finalizada la impresión en 3D se procede al acabado superficial. En este caso, al tener una geometría compleja, la impresora ha creado diversos hilos de soporte para los agujeros y las zonas con mayor dificultad de impresión. Este tipo de impresión FDM no permite crear capas sobre vacío, es decir, imprime capa sobre capa. Estos hilos de soporte se pueden eliminar con la mano fácilmente o con un cúter, siempre haciéndolo con cuidado de no dañar la superficie.

3.5.6. Montaje

Por último, se van a colocar los 16 imanes en ambas partes de la férula. Se ha utilizado pegamento Loctite ya que funciona muy bien con PLA, por lo que se pegarán 8 imanes en los orificios del perfil de una de las férulas, y los otros 8 imanes encima de la superficie del perfil y a la misma altura que las de la otra férula.

De esta forma conseguimos la unión de ambas partes de la férula, consiguiendo un montaje sencillo con un efecto de unión invisible con la suficiente fuerza de agarre.

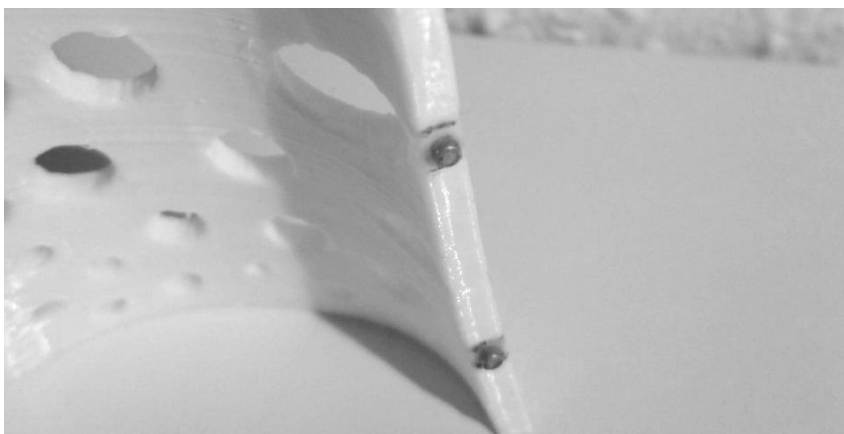


Ilustración 108: Detalle imanes. Elaboración propia.



Ilustración 109: Férula completa con imanes. Elaboración propia.

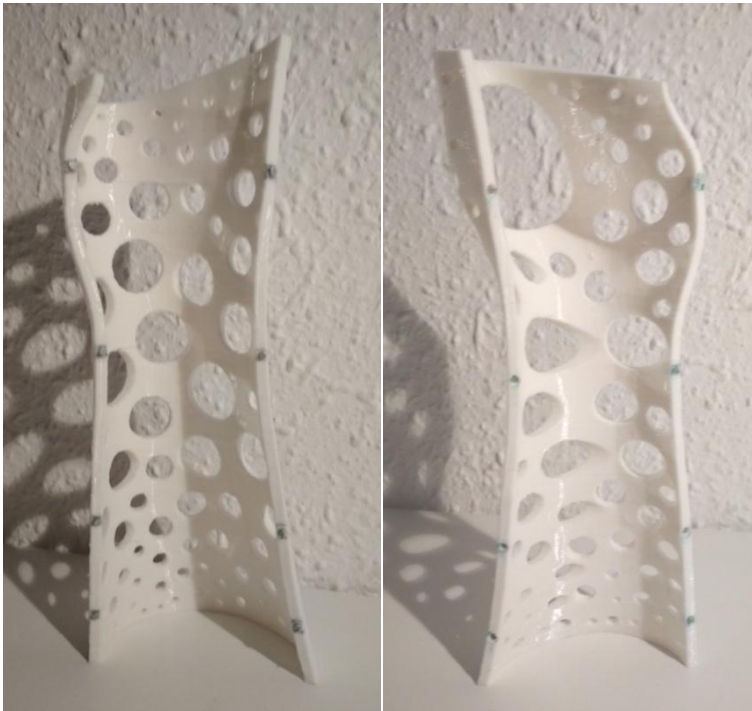


Ilustración 110: Férula parte 1 y 2 con imanes. Elaboración propia.

3.6. Resultado final



Ilustración 111: Férula SKONE. Elaboración propia.

3.6.1. Impresiones descartadas

PRIMERA IMPRESIÓN DEL PROTOTIPO

Una vez acabado el diseño final 3D de la férula, se procedió a hacer una primera impresión en 3D. Esta me serviría para comprobar los conocimientos adquiridos sobre impresión 3D, y que tanto la impresora, el material y los parámetros utilizados eran los adecuados, y además para hacer tanto comprobaciones visuales de la férula como funcionales. Los pasos para conseguir este primer prototipo son los mismos que la férula final, pero cambiando algunos parámetros.

Para su impresión en 3D se utilizó la impresora____, con una altura de la capa de 200 μm y altura filamento del material PLA en blanco con brillo, tardando unas 24horas en imprimirse. Se puede ver cómo la impresión es tipo “low cost” ya que las capas de depósito de material están muy marcadas. La intención era abaratar los costes de esta primera impresión y ver las capacidades de una impresión low cost, y el que las capas estuvieran muy marcadas eran indiferentes en este caso. Las imperfecciones más importantes, y que requieren de una modificación en el modelo 3D, se han marcado con un rotulador negro.



Ilustración 112: Primer prototipo de férula Skone

En esta primera impresión, se hizo con un espesor de la férula de 3 mm que posteriormente fue cambiada ya que el perfil de las partes, donde iban colocados los imanes, era extremadamente estrecho y los agujeros de estos no estaban bien definidos y los imanes no acababan de entrar en los orificios.

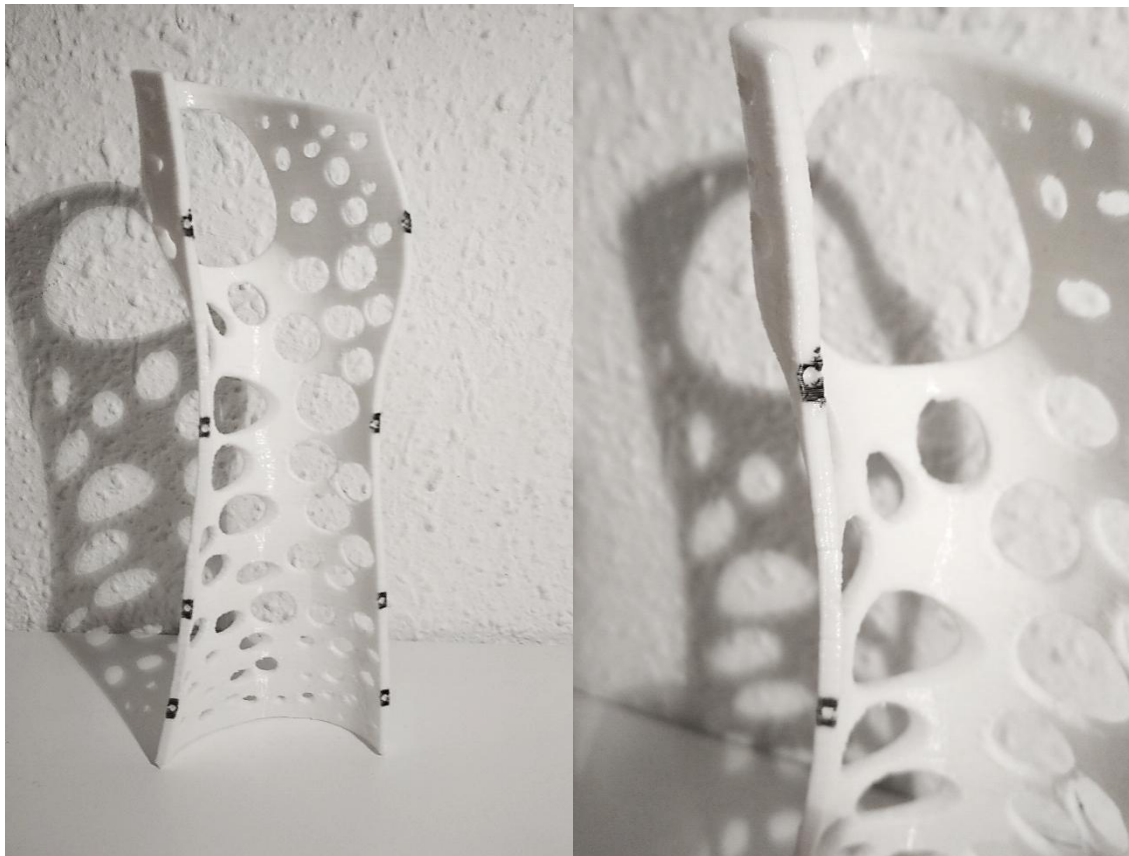


Ilustración 113: Detalle de los agujeros de los imanes en el primer prototipo de férula Skone

También, los agujeros de distintos tamaños que hay a lo largo de la férula, presentaban defectos de impresión, ya que algunos no estaban bien definidos o sobresalían hilos del material. Había algunos agujeros que tenían poca distancia entre ellos, por lo que se cambió a una distancia mayor o a la reducción de algunos agujeros para evitar roturas o puntos frágiles.

Al colocar la férula en mi brazo derecho, compruebo que la parte de la palma de la mano tiene demasiada holgura para mí. Puedo mover los dedos con facilidad y coger objetos, sin impedirme hacer movimientos, pero está un poco “suelta”. Sabiendo esto, se modificó el 3D reduciendo la parte interior de la palma de la mano alrededor de 1mm. Tanto la altura de la férula como su orificio del dedo pulgar.

En cuanto al tacto con la piel, se siente agradable incluso bajo el agua. Muy ligero y resistente.



Ilustración 114: Detalle de los agujeros e imperfecciones de férula Skone

IMPRESIONES FALLIDAS:

Antes de conseguir la férula impresa en 3D que cumpliera con todos los objetivos propuestos, hubo una impresión, previa a la final. Ésta se mandó imprimir con similares instrucciones y parámetros que la férula final pero a mitad de su fabricación ésta se despegó de la mesa de la impresora ocasionando un descontrol en la impresión.



Ilustración 115: Detalle de la impresión fallida. Elaboración propia.

Esto nos hace reflexionar, y darnos cuenta que hay que tener un margen de error cuando se va a imprimir un prototipo, ya sea humano o de la impresora. En este caso, el pegamento que se utilizó era el acertado, pero con una cantidad insuficiente para soportar la férula, ya que ésta tiene bastante altura y poca superficie de soporte. Dicho esto, en la férula final se aumentó tanto la cantidad de pegamento entre férula-mesa y los hilos de soporte.

3.7. Conclusión

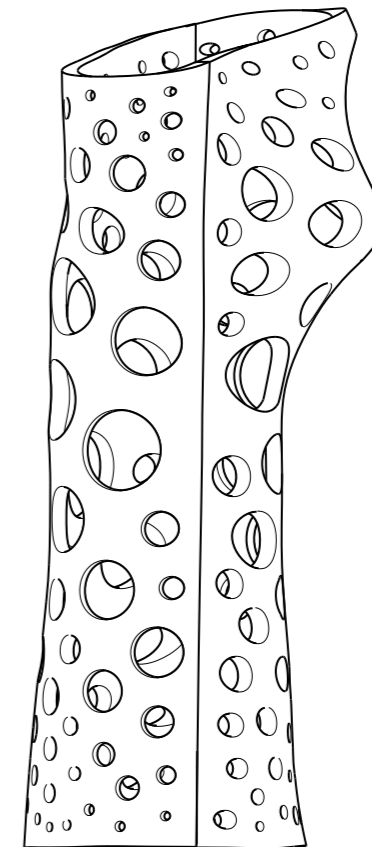
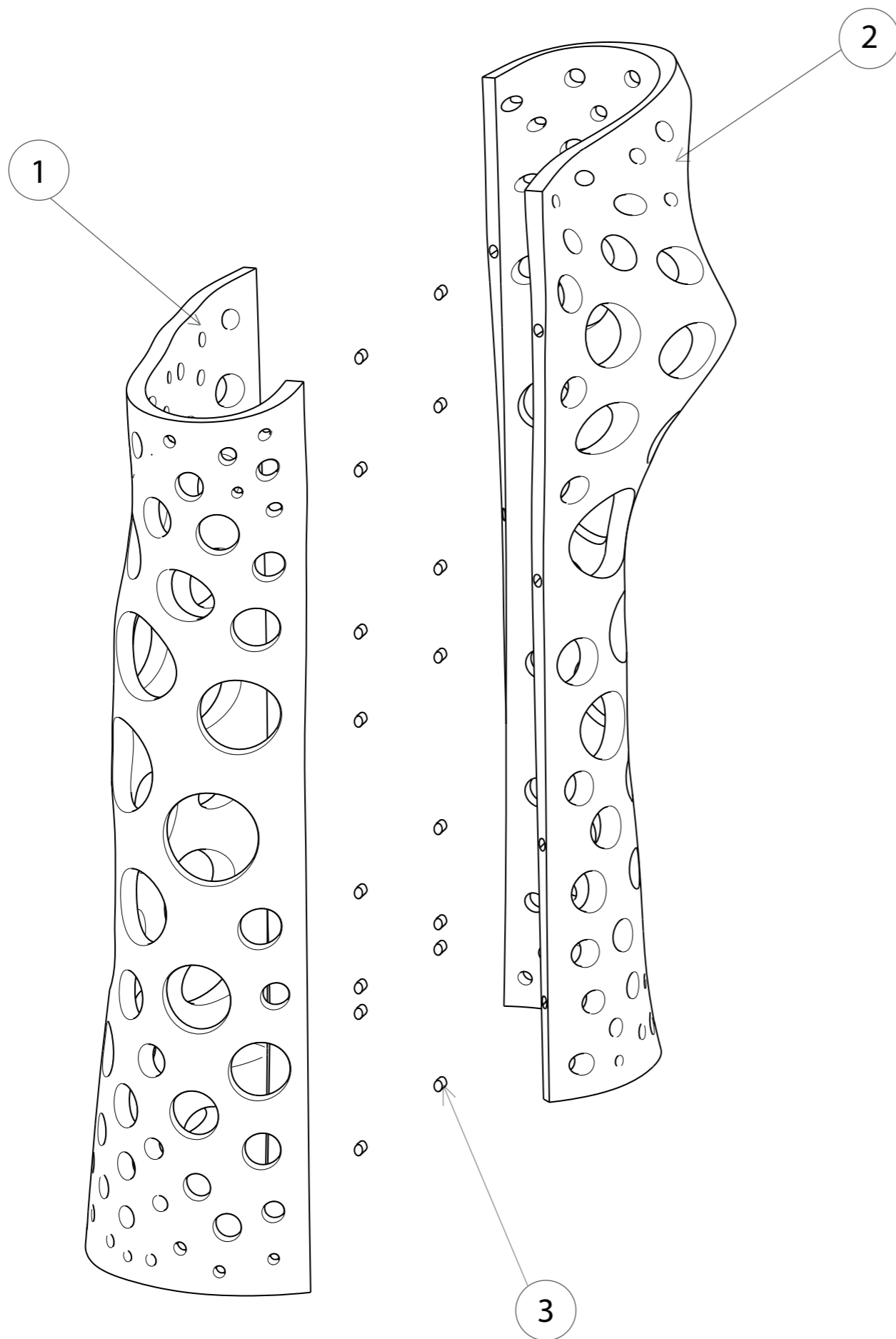
Se ha conseguido imprimir en 3D la férula completa, aunque se hayan necesitado varias pruebas hasta llegar a la definitiva. Esto es debido a que mis conocimientos en impresión 3D eran de principiante, y hace falta un tiempo de prueba y error hasta dar con la mejor impresión, es decir, conseguir cambiar los parámetros de impresión y adecuarlos al modelo que estamos imprimiendo. Además, la impresora que se ha escogido era la primera vez que la utilizaba.

Cabe destacar que, aunque la impresión en 3D es muy accesible, se requieren de unos conocimientos previos ya que cada máquina, material y software se comportan de forma distinta, aunque en líneas generales es el mismo proceso.

En cuanto al resultado obtenido del primer prototipo de la férula Skone ha sido muy satisfactorio. La calidad de impresión es de alta calidad, ha sido un proceso rápido y muy económico cumpliendo así los objetivos marcados. Por lo que se obtiene así una férula impresa en 3D capaz de inmovilizar mi brazo derecho, o de cualquier otra persona, para la curación de la muñeca, siendo éste ligero, sumergible en agua, reciclable, estético, adaptable a tu propio brazo, capaz de permitirnos hacer una vida cotidiana y muy económico.

4

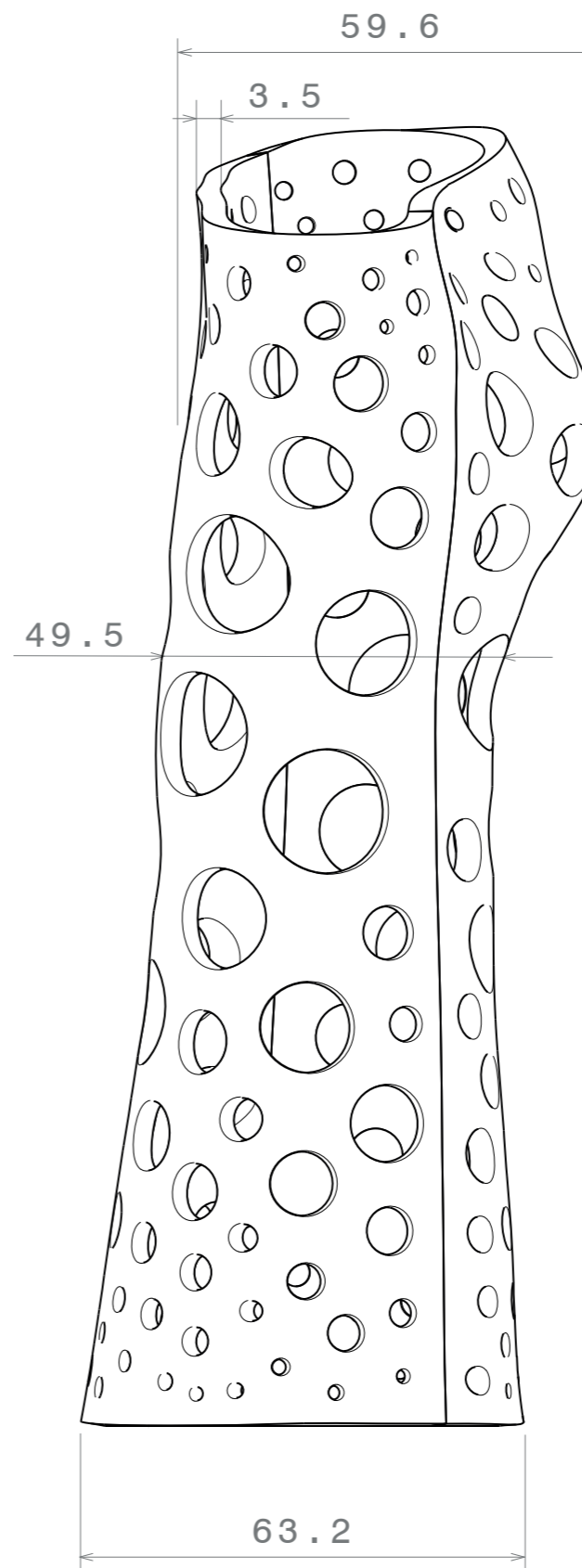
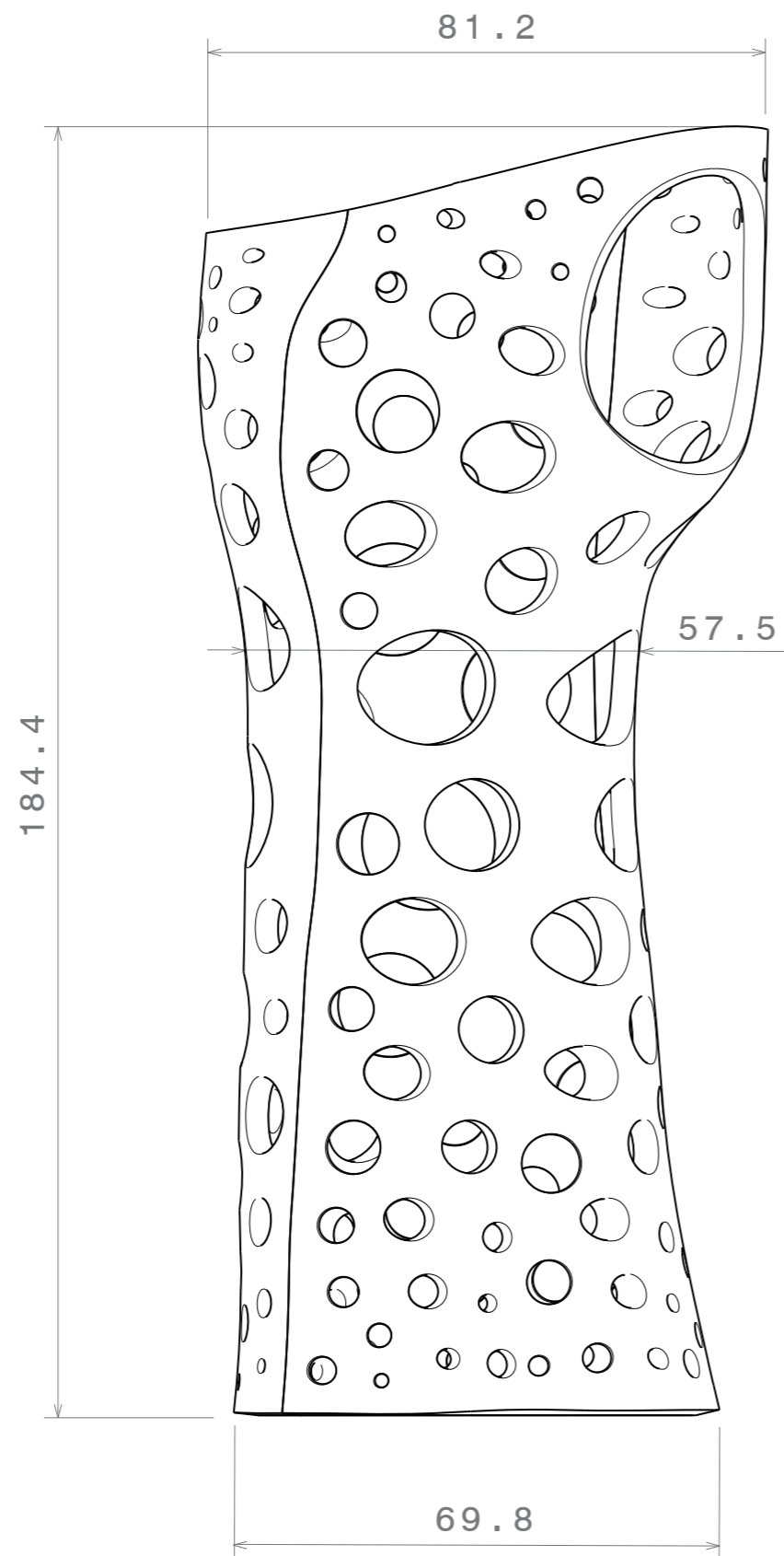
PLANOS



| MARCA | DESIGNACIÓN | CANTIDAD | MATERIAL | PLANO |
|-------|----------------|----------|--------------|-------|
| 3 | Imán 2x1mm | 16 | Neodimio N42 | |
| 2 | Parte 2 férula | 1 | PLA Ivory | 04 |
| 1 | Parte 1 férula | 1 | PLA Ivory | 03 |


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

| | | | |
|---|------------------------------|---|--|
| DISEÑO DE FÉRULA | DESIGNACIÓN: CONJUNTO | | |
| PROYECTO FIN DE CARRERA GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO | FECHA: 10/06/2019 | PLANO: 01 | |
| | ESCALA: 1:1 | FIRMA: Fmd: Leyre Herrera Gil | |



DISEÑO DE FÉRULA

DESIGNACIÓN: MEDIDAS GENERALES

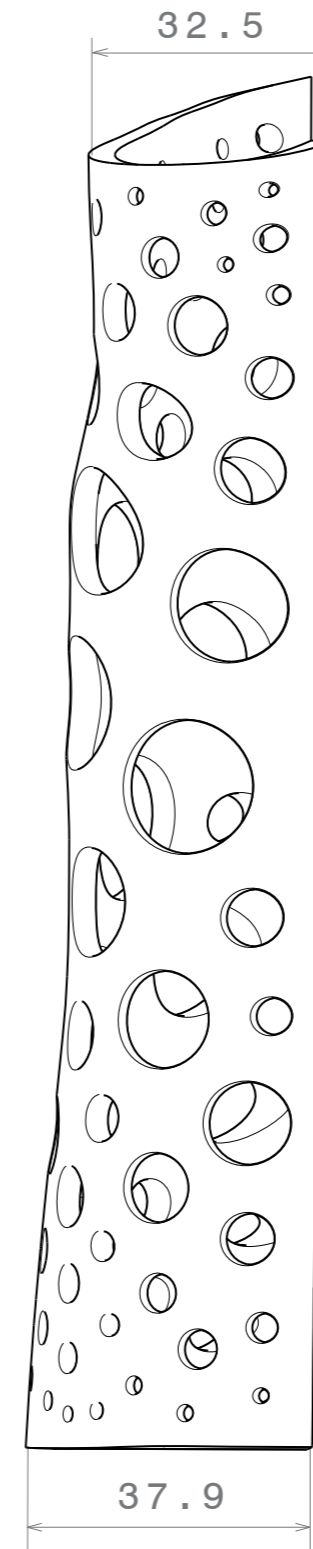
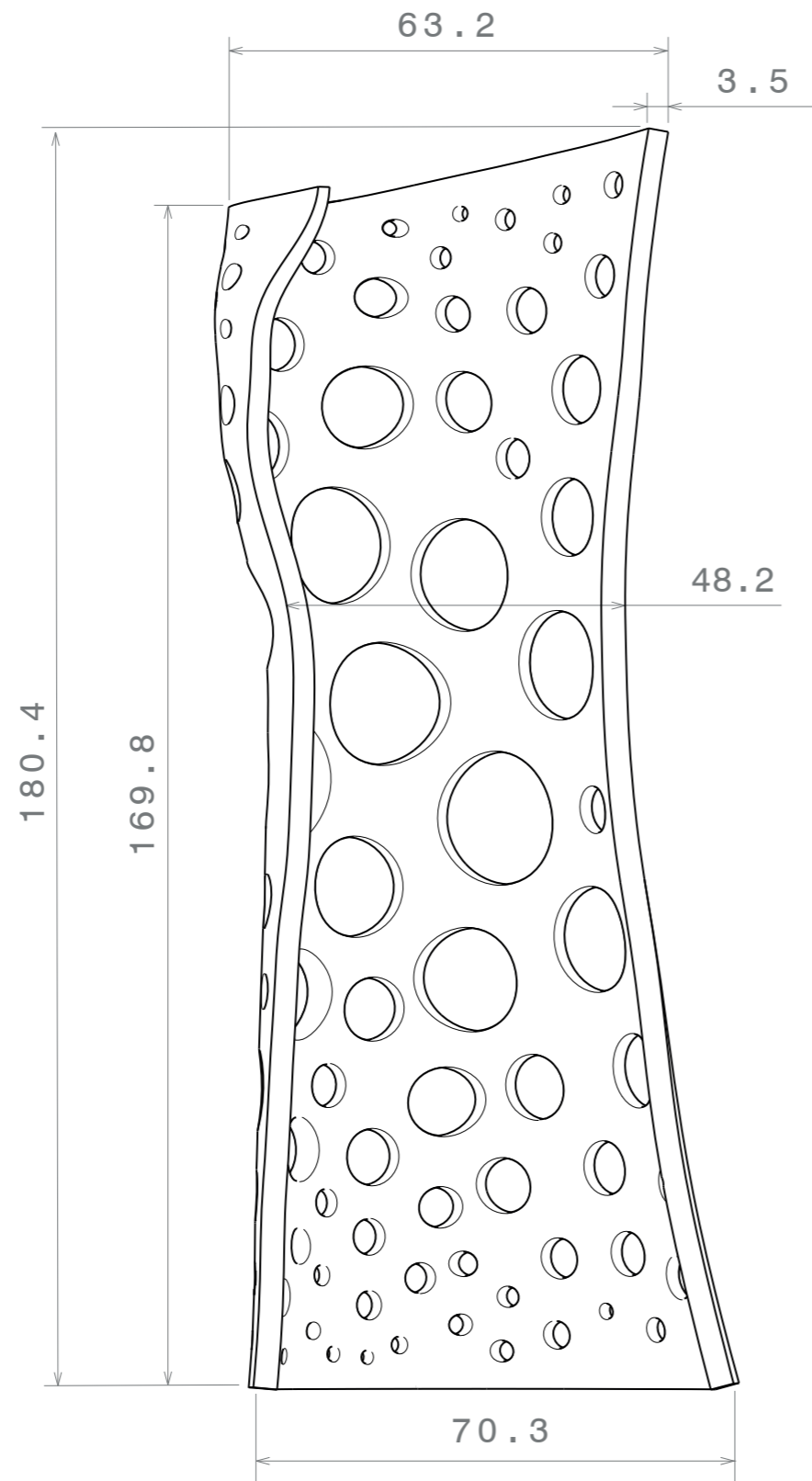
PROYECTO FIN DE CARRERA
 GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
 Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

FECHA: 10/06/2019

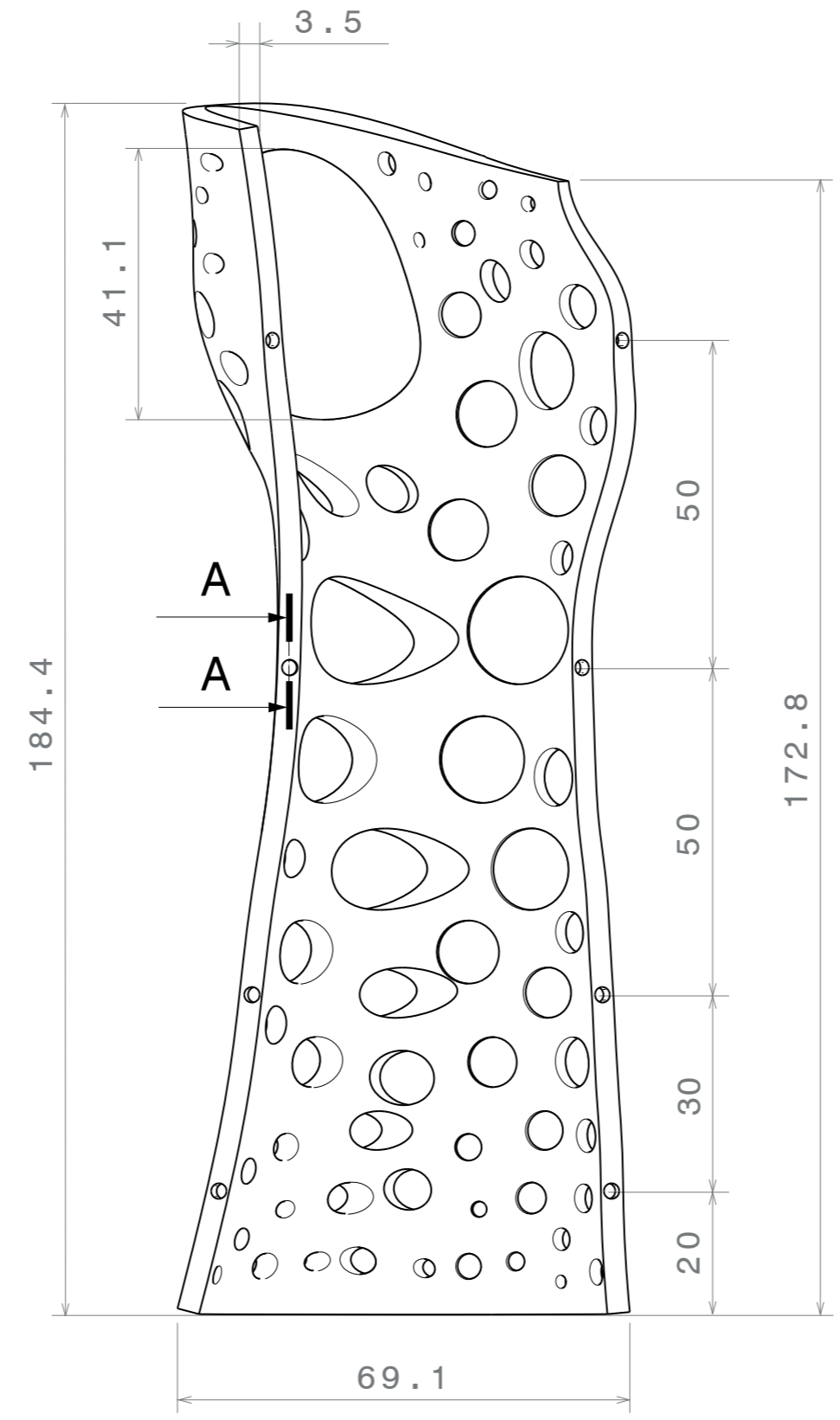
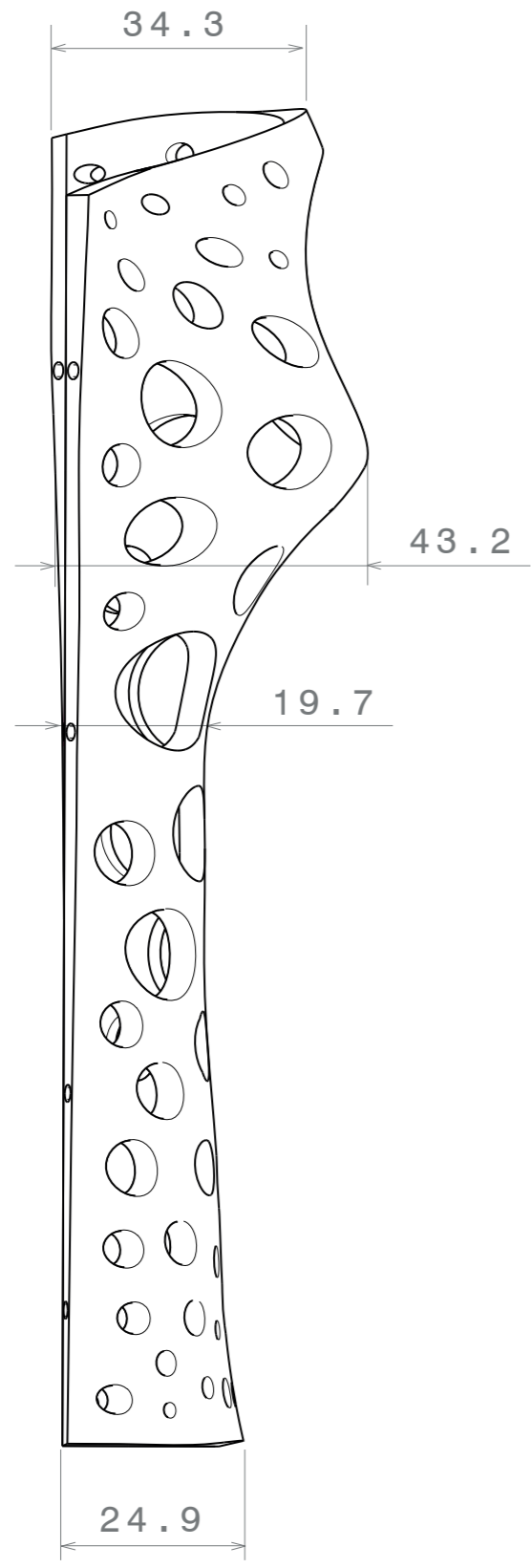
PLANO: 02

ESCALA: 1:1

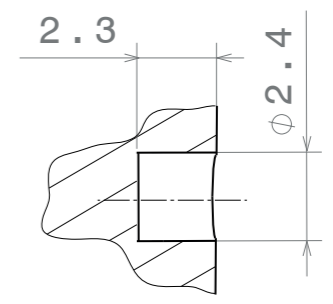
FIRMA:
 Fmd: Leyre Herrera Gil



| | | |
|--|------------------------------------|----------------------------------|
| DISEÑO DE FÉRULA | DESIGNACIÓN: PARTE 1 FÉRULA | |
| PROYECTO FIN DE CARRERA GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO | FECHA: 10/06/2019 | PLANO: 03 |
| | ESCALA: 1:1 | FIRMA: Fmd: Leyre Herrera Gil |

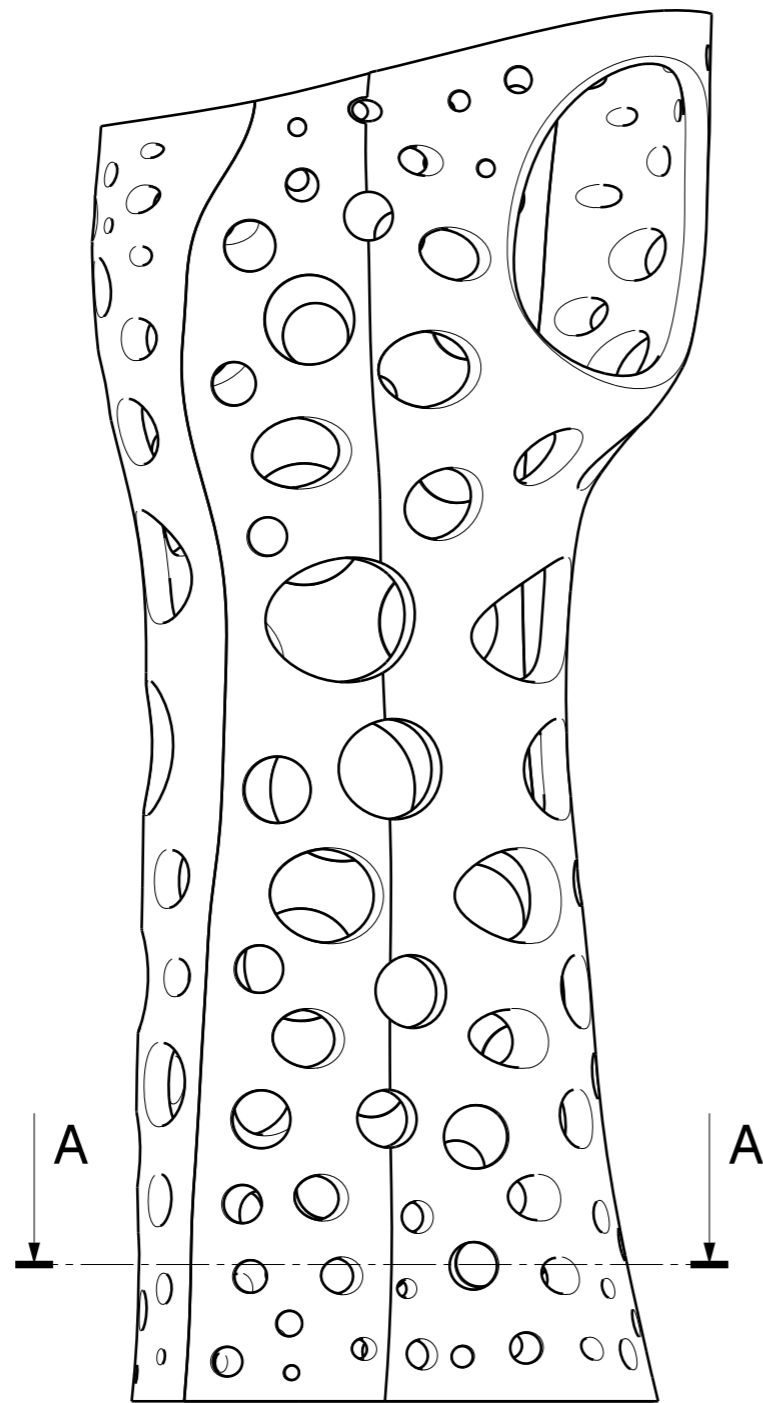


A-A

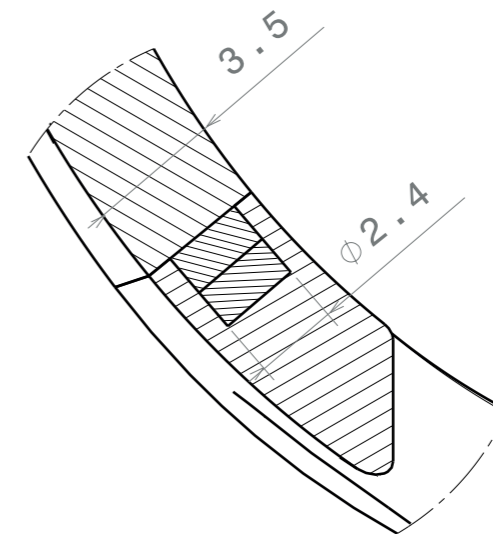
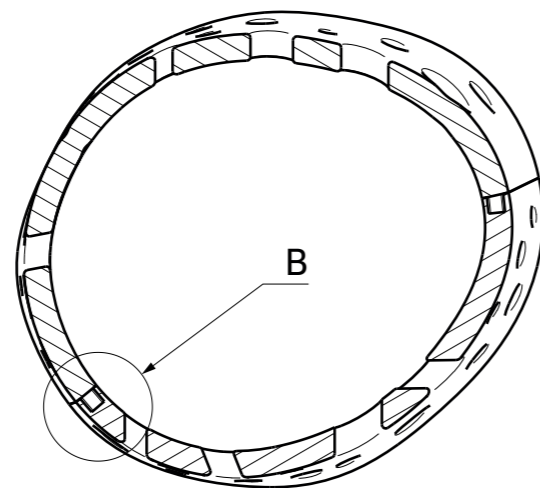


Escala 5:1

| | |
|--|----------------------------------|
|  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| DISEÑO DE FÉRULA | DESIGNACIÓN: PARTE 2 FÉRULA |
| PROYECTO FIN DE CARRERA GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO | FECHA: 10/06/2019 |
| | PLANO: 04 |
| ESCALA: 1:1 | FIRMA: Fmd: Leyre Herrera Gil |



A-A



Detalle B
Escala: 5:1

DISEÑO DE FÉRULA

DESIGNACIÓN: UNIÓN

PROYECTO FIN DE CARRERA
 GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
 Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

FECHA: 10/06/2019

PLANO: 05

ESCALA: 1:1

FIRMA:
 Fmd: Leyre Herrera Gil

5

PRESUPUESTO

El presupuesto que se presenta es el que me ha supuesto la creación de la férula Skone impresa en 3D personalizada para mi brazo derecho.

Se tendrán en cuenta todos los costos del proceso de obtención de la férula, desde su escaneado 3d, diseño personalizado, impresión 3d y montaje, y de los materiales utilizados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PRESUPUESTO

1.1. Escaneado 3D

- La cámara fotográfica se considera amortizada ya que tiene más de 10 años.
- El tiempo de toma de fotografías es de 30 minutos realizado por un ingeniero.
- El software utilizado para procesar las fotografías y obtener el modelo 3d del brazo, Autodesk Recap Photo, se ha adquirido una licencia de estudiante gratuita por 3 años.
- Las modificaciones para editar la malla generada se realizan por un ingeniero durante un periodo de 30 minutos.

1.2. Diseño

- Se ha utilizado un ordenador portátil personal de 8 años por lo que se considera amortizado.
- La creación del modelo 3D de la férula se ha realizado con el programa CATIA V5-6R2013 con una licencia de estudiante por 1 año gratuita.
- La edición del .stl final del modelo 3D del brazo y la adaptación del diseño de la férula al nuevo escaneado se realiza por un ingeniero en prácticas durante un periodo de 3 horas.
- La creación del modelo 3D de la férula en CATIA no se va a tener en cuenta en este presupuesto, solamente la modificación de éste para adaptarlo a otros brazos.

1.3. Impresión 3D

- El software utilizado es el Simplify 3D que es gratuito por un período de dos semanas, 0 de 133€ con todas las actualizaciones gratuitas. Este tipo de programas informáticos tienen una amortización de 6 años, por lo que es coste anual de Simplify 3D es de 22,17€/año. El tiempo de funcionamiento es de 8h/día, lo que equivale a una jornada

de un oficial de 1ª trabajando 1800h/año. Con esto sabemos que el precio por hora de este software es de 0,0123€/h.

-La máquina utilizada para la impresión 3D es la creality ender 3D valorada en 200€. Es una nueva adquisición por lo que sabiendo que este tipo de máquinas su amortización es de 4años, el coste anual de la impresora 3D es de 50€/año. El tiempo medio de funcionamiento al día es de 18h/día. Con esto sabemos que el precio por hora de funcionamiento de la impresora 3D es de 0,0076€/h.

-El material utilizado es PLA Ivory White con un precio de 22,95€/kg.

-Se ha usado un pegamento tipo spray para unir la férula a la cama de la impresora denominado dimafix con un precio de 12€/u y permite más de 100 usos

Impresoras3d.com

1.4. Montaje

- Las dos partes de la férula se van a unir con 16 imanes de 2x1mm con un precio de 0,1705€/u.

-El pegamento utilizado para unir los imanes con la férula es loctite.

2.PRESUPUESTO FINAL

Se propone un presupuesto del coste que ha supuesto la férula Skone, diseñado y desarrollado para este trabajo de fin de grado.

| TABLA DE COSTE DE MATERIAL | | | Escuela de Ingenierías Industriales - UVA | | |
|----------------------------|--------------|-----------|--|--------------|-----------------|
| | | | TFG- DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA ESCANEADA E IMPRESA EN 3D | | |
| | | | Realizado por: Leyre Herrera Gil | | |
| | | | Fecha: Junio 2019 | | Tabla: 1/2 |
| MATERIAL | Cantidad (u) | Coste (h) | Coste (€/u) | Coste (€/h) | Total coste (€) |
| Cámara fotográfica | 1 | | amortizado | | 0 |
| Autodesk Recap Photo | 1 | | Licencia estudiantes | | 0 |
| Ordenador portátil HP | 1 | | amortizado | | 0 |
| CATIA V5-6R2013 | 1 | | Licencia estudiantes | | 0 |
| Creality ender 3D | | 10 | | 0,0076 | 0,076 |
| Simplify 3D | | 0,5 | | 0,0123 | 0,00615 |
| Imán 2x1mm | 16 | | 0,1375 | | 2,2 |
| | | | | TOTAL | 2,28€ |

Tabla 2: coste de material 1/2. Presupuesto final.

| TABLA DE COSTE DE MATERIAL | | | Escuela de Ingenierías Industriales - UVA | | |
|-----------------------------------|--------------|------------|--|--------------|-----------------|
| | | | TFG- DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA ESCANEADA E IMPRESA EN 3D | | |
| | | | Realizado por: Leyre Herrera Gil | | |
| | | | Fecha: Junio 2019 | | Tabla: 2/2 |
| MATERIAL | Cantidad (g) | Coste (ml) | Coste (€/g) | Coste (€/ml) | Total coste (€) |
| PLA Ivory | 76 | | 0,02295 | | 1,7442 |
| Dimafix | | 4 | | 0,03 | 0,12 |
| Loctite | 0,25 | | 1,4 | | 0,35 |
| | | | | TOTAL | 2,21€ |

Tabla 2: coste de material 2/2. Presupuesto final.

| TABLA DE COSTE DE OPERACIONES | | | Escuela de Ingenierías Industriales - UVA | | |
|--------------------------------------|--------------|------------|---|--------------|-----------------|
| | | | TFG-DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA ESCANEADA E IMPRESA EN 3D | | |
| | | | Realizado por: Leyre Herrera Gil | | |
| | | | Fecha: Junio 2019 | | Tabla: 1/1 |
| OPERACIÓN | FASE | Tiempo (h) | Tipo operario | Operario (h) | Total coste (€) |
| Toma de fotografías | ESCANEADO 3D | 0.5 | Oficial 1ª | 9,42 | 4,71 |
| Procesamiento de imágenes | | 3 | Sin supervisión | 0 | 0 |
| Edición malla | DISEÑO | 0.5 | Oficial 1ª | 9,42 | 4,71 |
| Adaptación del 3D de la férula | | 3 | Oficial 1ª | 9,42 | 18,84 |
| Preparación impresión | IMPRESIÓN 3D | 0.5 | Oficial 1ª | 9,42 | 4,71 |
| Fabricación | | 10 | Sin supervisión | 0 | 0 |
| Acabado superficial | | 0.3 | Oficial 1ª | 9,42 | 2,826 |
| Unión imanes-férula | MONTAJE | 0.3 | Oficial 1ª | 9,42 | 2,826 |
| | | | | TOTAL | 38,62€ |

Tabla 2: coste de operaciones. Presupuesto final.

Sumando el coste de materiales y el coste de operaciones obtenemos el precio final de la férula.

COSTE TOTAL DE LA FÉRULA43,11€

6

CONCLUSIONES Y
LÍNEAS FUTURAS

Se ha querido desarrollar y diseñar una férula escaneada e impresa en 3D totalmente personalizada para inmovilizar un miembro superior de una persona, que en este caso ha sido para inmovilizar mi muñeca derecha.

Se ha empezado analizando el escaneado 3D y la impresión 3D, qué tipo de tecnologías se utilizan en este ámbito y qué existe en el mercado para saber las capacidades de cada una. Además, de un estudio de mercado de férulas y órtesis que usan tanto escáner 3D como impresoras 3D. Con todo esto, se ha podido diseñar y desarrollar una férula cumpliendo con los objetivos propuestos en la parte 3 de este trabajo.

Para escanear el brazo se ha utilizado una cámara profesional y mediante la fotogrametría se ha conseguido obtener un modelo virtual de mi brazo derecho con una calidad alta. Este proceso de escaneado es accesible y fácil de usar, siempre que se tengan unos conocimientos previos, tanto de esta tecnología como de fotografía ya que la toma de fotografías es la clave para poder obtener un modelo 3D. También es necesario una cámara de fotos semiprofesional o profesional y un buen software para procesar las imágenes. En cuanto al modelo virtual que se ha obtenido, el eneldo nos ha ayudado a definir muy bien los detalles del brazo, sobre todo de los dedos y aunque nos ha dañado la textura adquiriendo pequeños relieves, Autodesk Recap Photo nos ha permitido solventar estos errores de forma rápida e intuitiva. Por lo tanto, obtenemos un modelo 3D del brazo con una calidad alta y muchos detalles, adquiriendo un modelo de 640.000 caras.

En cuanto al modelo diseñado de la férula, se necesita una formación previa sobre diseño asistido por ordenador, en concreto en los módulos mencionado anteriormente, ya que la geometría es muy específica y el programa CATIA V5 es el más idóneo para ello.

Al obtener un diseño totalmente adaptado a cada persona, cada vez que se quiera fabricar una férula, habrá un tiempo de rediseño de férula acorde a las necesidades del paciente donde podremos economizar en tiempos y costes.

Hay que tener especial cuidado con las discontinuidades en la superficie de la férula y los desniveles, ya que ocasiona muchos errores en su geometría y el programa no te permite crear un espesor para su posterior impresión en 3D.

En definitiva, se ha conseguido diseñar un modelo virtual de una férula adaptada al brazo de una persona, en este caso mi propio brazo derecho. El hecho de haber diseñado una férula en Catia V5 mediante perfiles modificables en diferentes secciones, nos va a permitir adaptar de una forma más sencilla ese diseño a cualquier brazo importado a Catia V5 que ha sido escaneado, abaratando tiempos y costes.

Los distintos agujeros que hay a lo largo de la férula, permiten que la piel pueda transpirar y a su vez permite visualizar el brazo para dar visibilidad a la zona lesionada y facilitar su examinación visual.

Las uniones invisibles mediante pequeños imanes permiten la unión de las dos partes de la férula. Esto hace que estéticamente parezca una única pieza, y aparentemente

sea más atractivo y más ergonómico. Además, permite que las dos piezas estén fijas pero separables.

El diseño se puede adaptar a cada persona y personalizar a su gusto. Su forma adaptada y su ligereza permiten hacer una vida cotidiana. El diseño de una marca corporativa nos dota de una marca comercial de una imagen ante proveedores y/o clientes,

Se ha conseguido imprimir en 3D la férula completa, aunque se hayan necesitado varias pruebas hasta llegar a la definitiva. Esto es debido a que mis conocimientos en impresión 3D eran de principiante, y hace falta un tiempo de prueba y error hasta dar con la mejor impresión, es decir, conseguir cambiar los parámetros de impresión y adecuarlos al modelo que estamos imprimiendo. Además, la impresora que se ha escogido era la primera vez que la utilizaba.

Cabe destacar que, aunque la impresión en 3D es muy accesible, se requieren de unos conocimientos previos ya que cada máquina, material y software se comportan de forma distinta, aunque en líneas generales es el mismo proceso.

En cuanto al resultado obtenido del primer prototipo de la férula Skone ha sido muy satisfactorio. La calidad de impresión es alta, ha sido un proceso rápido y muy económico cumpliendo así los objetivos marcados. Por lo que se obtiene así una férula impresa en 3D capaz de inmovilizar mi brazo derecho, o de cualquier otra persona, para la curación de la muñeca, siendo éste ligero, sumergible en agua, reciclable, estético, adaptable a tu propio brazo, capaz de permitirnos hacer una vida cotidiana y muy económico.

Con todo esto, se han podido alcanzar todos los objetivos propuestos, obteniendo una férula de bajo coste con un precio de 43,11€ y con un total de 17h aprox. para completar la adaptación del diseño y su fabricación. Además, totalmente personalizada para adaptarse y mejorar la salud de las personas.

Líneas futuras

Gracias a este primer prototipo se podrá seguir investigando con férulas escaneadas e impresas en 3D, mejorando la calidad del modelo virtual escaneado, el material de impresión, el sistema de unión e incluso la posibilidad de adaptar la férula a distintas.

Para líneas futuras, se propone por tanto la elaboración e investigación de un modelo virtual escaneado mediante un escáner con tecnología de luz estructurada ya que la precisión es mayor y se puede mejorar en tiempo y en precisión.

En cuanto a la impresión 3D, la impresora utilizada nos ayuda a obtener un prototipo de muy buena calidad, pero se podría aumentar el tiempo de impresión y la calidad de la capa. En cuanto a la superficie del modelo, aunque es muy buena se podría investigar e intentar utilizar productos químicos para que el tacto sea más agradable con el contacto de la piel.

El material PLA Ivory nos ha dado buenos resultados y es el material más fácil de imprimir en 3D, pero sigue siendo muy rígido y de calidad media. Por lo tanto, se podría investigar con materiales un poco más flexibles y ver cómo se comporta impreso en 3D.

La unión invisible, en mi opinión, es lo más importante y lo que diferencia de otras férulas ya existentes en el mercado. Mi intención es seguir investigando este punto y conseguir un montaje más sencillo y con una fuerza de agarre mayor, siempre utilizando este tipo de imanes.

Y por último, este prototipo se ha pensado para un miembro superior pero podría ser posible adaptarlo a distintas partes del cuerpo que requieran de una férula para ayudar a la recuperación, o incluso que fuese posible para animales.

En conclusión, hoy en día las férulas escaneadas e impresas en 3D se están haciendo un hueco en la sociedad velozmente pero todavía se necesita investigar en el tema con más profundidad para que algún día desaparezcan las escayolas de yeso y podamos incorporar un producto nuevo que nos ayudará a llevar nuestro día a día con total normalidad.

PARTE 7

BIBLIOGRAFÍA

PARTE 2: ANTECEDENTES

ESCANEADO 3D

_Características sobre escaneado 3D, consultado el día 8/02/2018 desde:

<https://www.digitalizacion-3d.com/que-es-y-para-que-sirve-un-escaner-3d/>

http://www.maria-online.com/electronics/article.php?lg=es&q=Esc%C3%A1ner_3D

<https://formizable.com/todo-sobre-tecnologias-escaner-3d/>

_Tipos de sistemas de escaneado 3D, consultado el día 10/02/2018

<http://www.measurecontrol.com/tiempo-de-vuelo-nuevas-oportunidades-en-3d/>

<https://www.3dnatives.com/es/escaner-de-triangulacion-laser-16032016/>

<http://tecnitop.com/es/diferencia-fase/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Escáner_de_luz_estructurada

http://www.cartesia.org/data/apuntes/fotogrametria/Introduccion_a_la_Fotogrametria.pdf

_Tipos de escáner activos: fijos, consultado el día 12/02/2018 desde:

<https://www.einscan.com/>

<https://matterandform.net/>

_Tipos de escáner activos: manuales, consultado el día 12/02/2018 desde:

<https://www.3dsystems.com/shop/sense>

<https://www.artec3d.com/es/portable-3d-scanners/artec-eva-lite>

http://eu.xyzprinting.com/eu_es/Product/3D-Scanner

_Tipos de escáner activos: mediante dispositivos móviles, consultado el día 13/02/2018 desde:

<https://structure.io/>

<https://eora3d.com/>

_Tipos de escáner pasivos: mediante dispositivos móviles, consultado el día 14/02/2018 desde:

<https://formizable.com/las-cinco-mejores-apps-de-escaneado-3d-y-gratuitas/>

<https://www.qclone.pro/>

_Tipos de escáner pasivos: mediante cámara profesional, consultado el día 14/02/2018 desde:

<https://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/>

<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>

<http://www.agisoft.com/>

PRÓTESIS Y ÓRTESIS

__Características de las prótesis, consultado el día 16/02/2018 desde:

<https://definicion.de/protesis/>

<http://www.arcesw.com/pms1.htm>

_Características de las órtesis, consultado el día 16/02/2018 desde:

http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf

<http://www.hospitaldeltrabajador.cl/htqa/Comunidad/documentos/Documents/MANUAL%20ORTESIS.pdf>

ESTUDIO DE MERCADO

_Prótesis de miembro superior impresos en 3D, consultado el día 10/03/2018 desde:

<http://imprimaria3d.com/noticias/2017/07/13/009207/estudiante-madrile-imprime-3d-pr-tesis-mano-kenia>

<http://imprimaria3d.com/noticias/2017/09/30/009330/cinco-milagros-impresi-n-3d-guillermo-mart-nez>

<http://atomiclab.org/>

https://elpais.com/internacional/2017/04/11/argentina/1491929616_757606.html

_Prótesis de miembro inferior impresos en 3D, consultado el día 11/03/2018 desde:

<http://unyq.com/guia-para-tecnicos/>

<http://www.aqualeg.com/en/>

_Órtesis de miembro superior impresos en 3D, consultado el día 11/03/2018 desde:

<http://www.exovite.com/es/exovite-es/>

<http://www.evilldesign.com/cortex>

<https://www.xkelet.com/>

_Órtesis de miembro superior e inferior impresos en 3D, consultado el día 12/03/2018 desde:

<https://fiixit.es/>

<https://www.voxeldesign.mx/producto/yeso-funcional-tipo-sarmiento-impreso-en-3d/>

_Productos impresos en 3D, consultado el día 13/03/2018 desde:

<https://www.synchronos.co/>

<http://imprimalia3d.com/noticias/2017/05/02/009017/wiivv-consigue-11-millones-d-lares-sus-sandalias-personalizadas-impresi-n>

<https://wiivv.com/products/womens-custom-sandals>

IMPRESIÓN 3D

_Características sobre impresión 3D, consultado el día 24/2/2018 desde:

https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

<http://itu.uncuyo.edu.ar/caracteristicas-de-las-impresoras-3d>

_ Historia de la impresión 3D, consultado el día 25/02/2018 desde:

<http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/>

https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf

_Principios de la impresión 3D, consultado el día 25/02/2018 desde:

<https://www.impresoras3d.com/los-diez-principios-de-la-impresion-3d/>

_ Tipos de tecnologías de impresión 3D, consultado el día 26/02/2018 desde:

<http://impresiontresde.com/tecnologias-de-impresion-3d-industrias/>

_ Principios de la impresión 3D FDM, consultado el día 27/02/2018 desde:

<https://www.additive3d.com/extrusion-deposition-fused-deposition-modeling-fdm/>

<http://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/modelado-por-deposicion-fundida>

<https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM%20-%20Tecnologia.pdf>

_Materiales para impresión 3D FDM, consultado el día 27/02/2018 desde:

<https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

<https://www.mediatrends.es/a/40090/mejores-materiales-imprimir-3d/>

<https://www.impresoras3d.com/top-5-de-los-mejores-materiales-tecnicos-para-impresion-3d/>

_Aplicaciones de la impresión 3D FDM, consultado el día 27/02/2018 desde:

<http://impresiontresde.com/9-aplicaciones-medicas-de-la-impresion-3d/>

PARTE 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

ESCANEADO 3D

_Condiciones de toma de fotografías, consultado el día 7/03/2018 desde:

https://blogs.autodesk.com/recap/what-makes-photos-good-for-photogrammetry/?_ga=2.252612617.1638115485.1532281169-1223243791.1528404450

<https://www.youtube.com/watch?v=-F-mBJQcthE>

_Características de la cámara fotográfica, consultado el día 10/03/2018 desde:

<https://www.albedomedia.com/tecnologia/e-510/>

<file:///G:/TFG/1%20MEMORIA/3%20DESARROLLO/5%20DESARROLLO%20ORTESIS/1%20ESCANEADO%203D/olympus%20e510.pdf>

_procesar imágenes en recap y condiciones de fotografías, consultado el día 7/03/2018 desde:

<https://es.scribd.com/document/293126029/Getting-Started-Guide-ReCap-Photo>

DISEÑO PERSONALIZADO

_Referentes anatómicos, consultado el día 5/03/2018 desde:

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0008019&PDF=Si#.WtXIPEXuKAh>

http://www.codem.es/Documentos/Informaciones/Publico/440fa1be-487e-4e7e-bd08-b573c84db01e/d03ab5c4-4838-4c99-a771-935ae2cdc513/473cf4d0-4689-4a34-b2fe-c46e8a2af44f/Inmovilizaciones_con_ferulas_de_yeso.pdf

http://www.codem.es/Documentos/Informaciones/Publico/7e040f14-0bea-421f-b327-440fe67f3617/5ad01565-cdab-47d3-9fff-7f13886010ce/d386d96e-0be3-49c7-b589-d3328607581e/poster_ferulas_de_yeso_identificado.pdf

<https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-ferula-postural-antebrazo-muneca-mano-X0212047X10512007>

_Inspiración: silla Yumi de Laura Kishimoto, consultado el día 15/03/2018 desde:

<https://revistamuebles.com/silla-yumi-una-flor-de-madera-y-acero/>

_imanes neodimio 2x1mm, consultado el día 24/03/2018 desde:

<https://www.calamit.es/imanes-permanentes/imanes-de-neodimio/discos-aros-bloques-esferas-magneticas-tierras-raras.php>

_Pautas para el desarrollo del diseño, consultado el día 20/03/2018 desde:

Apuntes de asignatura Oficina Técnica, de 4º de Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del producto

Apuntes de asignatura Taller de Diseño II y III, de 3º y 4º de Diseño Industrial y Desarrollo del producto

IMPRESIÓN 3D

_impresora creality3D ender3: características, consultado el día 15/04/2019 desde:

<https://all3dp.com/es/1/creality-ender-3-impresora-3d-analisis/>

<https://of3lia.com/creality-ender-3/>

<https://www.fnac.es/mp6625790/Impresora-3D-de-alta-precision-Creality3D-Ender-3-Version-Europea-Kit-DIY-Pantalla-de-marco-de-acero-Pantalla-LCD/w-4>

_material PLA ivory, características, consultado el día 17/04/2019 desde:

<https://www.smartmaterials3d.com/es/tienda-smart/71-pla-ivory-white.html>

_Características de Simplify3D, consultado el día 18/04/2019 desde:

<https://www.simplify3d.com/software/technical-specifications/>

PARTE 5: PRESUPUESTO

_Precio y características de máquinas y materiales, consultado el día 9/05/2018 desde:

<https://www.smartmaterials3d.com/es/tienda-smart/71-pla-ivory-white.html>

https://es.gearbest.com/3d-printers-3d-printer-kits/pp_1845899.html?wid=1433363&lkid=16718264

https://www.amazon.es/dp/B00IQH1EUE/ref=TE_SCE_3p_dp_1

<https://www.smartmaterials3d.com/es/producto-para-la-venta-al-publico/32-dimafix.html>

_Presupuesto proceso de fabricación, consultado el día 14/05/2018 desde:

Apuntes de asignatura Oficina Técnica, de 4º de Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del producto

https://www.agenciatributaria.es/static_files/AEAT/Contenidos_Comunes/La_Agencia_Tributaria/Segmentos_Usuarios/Empresas_y_profesionales/Novedades_IVA_2014/Nuevos_tipos_IVA.pdf

https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_/Empresas_y_profesionales/Empresas/Impuesto_sobre_Sociedades/Periodos_impositivos_a_partir_de_1_1_2015/Base_imponible/Amortizacion/Tabla_de_coeficientes_de_amortizacion_lineal_.shtml